



Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión

Facultad de Ingeniería Agraria, Industrias Alimentarias Y Ambiental

Escuela Profesional Ingeniería Ambiental

**Eficiencia del carbón activado de semillas de girasol en la remoción de arsénico y
hierro en agua potable, Pueblo Libre – Ancash**

Tesis

Para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental

Autoras

Estefany Lizeth Llanque Rimac

Sofía Natalia Ocrospoma Duran

Asesor

Dr. Fredesvindo Fernández Herrera



FREDESVINDO FERNÁNDEZ HERRERA
INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS
Reg. CIP N° 100525

Huacho – Perú

2026



Reconocimiento - No Comercial – Sin Derivadas - Sin restricciones adicionales

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

Reconocimiento: Debe otorgar el crédito correspondiente, proporcionar un enlace a la licencia e indicar si se realizaron cambios. Puede hacerlo de cualquier manera razonable, pero no de ninguna manera que sugiera que el licenciante lo respalda a usted o su uso. **No Comercial:** No puede utilizar el material con fines comerciales. **Sin Derivadas:** Si remezcla, transforma o construye sobre el material, no puede distribuir el material modificado. **Sin restricciones adicionales:** No puede aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros de hacer cualquier cosa que permita la licencia.



UNIVERSIDAD NACIONAL JOSÉ FAUSTINO SÁNCHEZ CARRIÓN

LICENCIADA

Resolución de Consejo Directivo N° 012-2020-SUNEDU/CD de fecha 27/01/2020

Facultad de Ingeniería Agraria, Industrias Alimentarias y Ambiental

Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental

INFORMACIÓN

DATOS DEL AUTOR:		
NOMBRES Y APELLIDOS	DNI	FECHA DE SUSTENTACIÓN
Estefany Lizeth Llanque Rimac	74287248	19/06/2026
Sofia Natalia Ocrospoma Duran	75378167	19/06/2026
DATOS DEL ASESOR:		
NOMBRES Y APELLIDOS	DNI	CÓDIGO ORCID
Dr. Fredesvindo Fernandez Herrera	40588728	https://orcid.org/0000-0003-2973-7973
DATOS DE LOS MIEMBROS DEL JURADO – PREGRADO:		
NOMBRES Y APELLIDOS	DNI	CÓDIGO ORCID
Dr. Angel Pedro Campos Julca	15733670	https://orcid.org/0000-0002-1418-6104
Mg. Hellen Yahaira Huertas Pomasoncco	46741141	https://orcid.org/0000-0002-4204-7320
Dr. Maria del Rosario Grados Olivera	15736587	https://orcid.org/0000-0002-3004-0252

2026-032166 ESTEFANY LIZETH LLANQUE RIMAC 2...

EFICIENCIA DEL CARBÓN ACTIVADO DE SEMILLAS DE GIRASOL EN LA REMOCIÓN DE ARSÉNICO Y HIERRO EN AGU...

UI-FIAIAYA PREGRADO 2026

Unidad de Investigación FIAIAYA-2026

Facultad de Ingeniería Agrarias, Industrias Alimentarias y Ambiental

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid::1:3554911073

Fecha de entrega

29 abr 2026, 11:40 a.m. GMT-5

Fecha de descarga

29 abr 2026, 11:47 a.m. GMT-5

Nombre del archivo

BORRADOR_DE_TESIS_LLANQUE_RIMAC_ESTEFANY_LIZETH_OCROSPOMA_DURAN_SOFIA_NATALIA..pdf

Tamaño del archivo

4.7 MB

68 páginas

12.750 palabras

78.211 caracteres



Página 1 de 76 - Portada

Identificador de la entrega trn:oid::1:3554911073



Página 2 de 76 - Descripción general de integridad

Identificador de la entrega trn:oid::1:3554911073

20% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para co...

Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Coincidencias menores (menos de 8 palabras)

Exclusiones

- N.º de coincidencias excluidas

Fuentes principales

- 20% Fuentes de Internet
- 9% Publicaciones
- 12% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo en primer lugar a Dios, por brindarme salud, fortaleza y sabiduría para seguir adelante incluso en los momentos más difíciles.

A mi mami Eli,
por ser mi mayor fortaleza y mi más grande inspiración.

Gracias por cada sacrificio silencioso, por tu amor incondicional y por no soltar mi mano.

Tu apoyo, tus consejos y tu confianza en mí fueron el motor que me impulsó a seguir adelante. Este triunfo es tan mío como tuyo, cada logro lleva un pedacito de tu esfuerzo, tu paciencia y tu fe.

A mis hermanos, por su paciencia, comprensión y palabras de aliento a lo largo de este camino. Finalmente, a mi compañera, amiga y colega de toda la vida Sofía, por ser mi complemento y haber recorrido este camino largo.

Gracias por ser parte de este logro, con amor,

Estefany

DEDICATORIA

A Dios, por ser mi guía constante, por darme fortaleza en los momentos de duda y por iluminar mi camino con sabiduría y esperanza. Sin su bendición, nada de lo alcanzado habría sido posible.

A mis padres Celinda y Tare, por su amor incondicional, su apoyo incansable y sus sacrificios silenciosos. Gracias por creer en mí incluso cuando yo dudaba, por enseñarme el valor del esfuerzo y por ser el pilar fundamental de cada uno de mis logros.

A mi amiga y compañera Estefany, por caminar conmigo cada etapa de este proceso. Gracias por tu apoyo constante, tu paciencia, tu compromiso y por compartir desvelos, ideas y esfuerzos.

Finalmente, a todos los que me acompañaron y apoyaron a lo largo de este camino, mi más sincero agradecimiento,

Sofia.

AGRADECIMIENTO

Agradecemos, en primer lugar, a Dios, por brindarnos la fortaleza, la sabiduría y la perseverancia necesarias para culminar este trabajo de investigación.

Expresamos nuestro sincero agradecimiento a nuestros padres y familias, por su apoyo incondicional, comprensión y motivación constante a lo largo de nuestra formación académica. Su confianza fue fundamental para alcanzar este objetivo.

A nuestros docentes y asesores, por su orientación, conocimientos y acompañamiento durante el desarrollo de esta tesis, los cuales fueron clave para el logro de los objetivos planteados.

Finalmente, agradecemos a todas las personas que, de una u otra manera, contribuyeron al desarrollo y culminación de este trabajo, brindándonos su apoyo y colaboración.

Este logro representa el esfuerzo conjunto y el respaldo de quienes creyeron en nosotras durante este proceso académico.

Con mucho amor Estefany y Sofía

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTO.....	vi
ÍNDICE GENERAL	vii
ÍNDICE DE TABLAS	x
ÍNDICE DE FIGURAS	x
ÍNDICE DE ANEXOS	xi
RESUMEN	xii
ABSTRACT	xiii
INTRODUCCIÓN.....	xiv
2. CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
2.1. Descripción de la realidad problemática.	1
2.2. Formulación del problema.....	2
2.2.1 Problema general	2
2.2.2 Problemas específicos.....	2
2.3. Objetivos de la investigación.....	2
2.3.1 Objetivo general	2
2.3.2 Objetivos específicos.....	2
2.4. Justificación de la investigación	3
2.5. Delimitación del estudio.....	3
2.5.1 Delimitación territorial	3
2.5.2 Delimitación temporal y espacial	3
3. CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	5
3.1. Antecedentes de la investigación.....	5
3.1.1 Antecedentes internacionales	5
3.1.2 Antecedentes nacionales.....	6
3.2. Bases teóricas	7
3.2.1 Agua y calidad del agua	7

3.2.2 Contaminación del agua	7
3.2.3 Tratamiento de agua y adsorción.....	7
3.2.4 Marco Legal.....	8
3.3. Bases filosóficas	8
3.4. Definiciones conceptuales	9
3.5. Hipótesis de investigación.....	10
3.5.1 Hipótesis general	11
3.5.2 Hipótesis específicas.....	11
3.6. Operacionalización de variable	12
4. CAPÍTULO III. METODOLOGÍA.....	13
4.1. Gestión del experimento.....	13
4.1.1 Ubicación.....	13
4.1.2 Características del área experimental	15
4.1.3 Tratamientos	16
4.1.4 Diseño experimental.....	22
4.1.5 Variables a evaluar	23
4.1.6 Conducción del experimento	26
4.2. Técnicas para el procesamiento de la información.....	27
4.3. Técnicas de recolección de datos.....	27
4.3.1 Materiales y equipos.....	27
4.3.2 Consideraciones previas	28
4.3.3 Procedimiento del muestreo	28
4.3.4 Transporte de la muestra	31
4.4. Matriz de consistencia	32
5. CAPÍTULO IV. RESULTADOS	33
6. CAPÍTULO VI. DISCUSIÓN	38
7. CAPÍTULO VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	40
7.1. Conclusiones.....	40

7.2. Recomendaciones	40
8. CAPÍTULO VII. REFERENCIAS	41
9. ANEXOS	46

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Operacionalización de variables	12
Tabla 2. Lista de Centros Poblados del Distrito de Pueblo Libre con sistema de agua potable	15
Tabla 3. Tratamientos a utilizar en el experimento	22
Tabla 4. Matriz de consistencia	32
Tabla 5. Test de Shapiro – Wilk de medias de porcentajes de remoción de As y Fe	36
Tabla 6. ANOVA %Fe remobido	36
Tabla 7. ANOVA %As remobido.....	36
Tabla 8. Prueba de Tukey %As Remobido.....	37
Tabla 9. Prueba de Tukey %Fe Remobido	37
Tabla 10. Base de datos	47
Tabla 11. Formato rotulo de la muestra.....	48
Tabla 12. Límites máximos permisibles de agua para consumo	49

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación del área de estudio	14
Figura 2. Pesado inicial de semilla de girasol	17
Figura 3. Tostado de semillas en mufla.....	17
Figura 4. Producto activado físicamente	18
Figura 5. Trituración de semillas tostadas.....	18
Figura 6. Pesado de semilla tostada triturado	19
Figura 7. Adición de activante químico y agua.....	19
Figura 8. Semilla de girasol químicamente activado.....	20
Figura 9. Secado final de carbón activado física y químicamente en estufa	20
Figura 10. Molienda final de carbón activado de semilla de girasol.....	21
Figura 11. Dosificación de carbón activado	21
Figura 12. Mesa de trabajo para ensayos de adsorción	23
Figura 13. Homogeneización de muestras con tratamiento.....	23
Figura 14. Muestras en contacto con los tratamientos - Cochatanca	24
Figura 15. Muestras en contacto con los tratamientos – Llacta Huaracayoc	24
Figura 16. Filtrado de muestra homogénea	25
Figura 17. Muestras filtradas.....	25
Figura 18. Flujograma de conducción sistemática del experimento	26

Figura 19. Reservorio Caserío Cochatanca	28
Figura 20. Identificación de punto de muestreo	29
Figura 21. Muestra rotulada	29
Figura 22. Rotulación previa de muestras	30
Figura 23. Georreferenciación de punto de muestreo	30
Figura 24. Extracción de muestra y vertidos a frascos – Llacta Huaracayoc.....	30
Figura 25. Extracción de muestra y vertidos a frascos – Cochatanca	31
Figura 26. Preservación con ácido nítrico	31
Figura 27. Gráfica comparativa de niveles iniciales y finales de arsénico en el caserío de Cochatanca.....	33
Figura 28. Gráfica comparativa de niveles iniciales y finales de hierro en el caserío de Llacta Huaracayoc	34
Figura 29. Porcentajes de remoción de concentración de arsénico en aguas del caserío Cochatanca.....	35
Figura 30. Porcentajes de remoción de concentración de hierro en aguas del caserío Llacta Huaracayoc	35
Figura 31. Carbonización de semillas a 350 °C	51
Figura 32. Dosificación de ácido acético para activación química	51
Figura 33. Pesado de tratamientos.....	52
Figura 34. Vertido de muestra a unidad de filtrado.....	52
Figura 35. Muestreo en Caserío de Llacta Huaracayoc.....	53
Figura 36. Muestreo en caserío de Cochatanca	53

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Base de datos	47
Anexo 2. Formato de rotulos de la muestra	48
Anexo 3. Límites máximos permisibles de agua para consumo	49
Anexo 4. Oficio múltiple remitido a las autoridades de las JASS de Cochatanca y Llacta Huaracayoc y al alcalde del Distrito de Pueblo Libre.	50
Anexo 5. Panel fotográfico.....	51

RESUMEN

Objetivo: Evaluar la eficiencia del carbón activado de semillas de girasol como coadyuvante natural en la remoción de arsénico y hierro en agua de consumo humano en el distrito de Pueblo Libre, departamento de Áncash.

Metodología: La investigación se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo y un diseño experimental. Se aplicaron cuatro tratamientos: agua sin tratamiento (testigo), carbón activado convencional, carbón activado de semillas de girasol y carbón activado convencional combinado con coadyuvante natural. Las muestras de agua fueron analizadas antes y después del tratamiento para determinar las concentraciones de arsénico y hierro, comparándose los resultados con los límites máximos permisibles para agua establecidos por la normativa peruana. El análisis estadístico se realizó mediante ANOVA y la prueba de Tukey con un nivel de significancia de 0.05.

Resultados: Los resultados evidenciaron que los tratamientos con carbón activado, tanto convencional como de semillas de girasol, lograron porcentajes de remoción superiores al 95 % para arsénico y al 96 % para hierro, alcanzando concentraciones finales por debajo de los límites máximos permisibles. El análisis estadístico indicó que no existen diferencias significativas entre los tratamientos con carbón activado, demostrando una eficiencia comparable entre el adsorbente natural y el convencional.

Conclusiones: Se concluye que el carbón activado de semillas de girasol presenta una alta eficiencia en la remoción de arsénico y hierro en agua de consumo humano, pudiendo actuar como coadyuvante natural del carbón activado convencional. Su uso representa una alternativa viable, económica y ambientalmente sostenible para el tratamiento de agua en zonas rurales.

Palabras clave: Carbón activado, arsénico, hierro, adsorción, agua potable, tratamiento de agua.

ABSTRACT

Objective: To evaluate the efficiency of activated carbon derived from sunflower seeds as a natural coadjuvant in the removal of arsenic and iron from drinking water in the district of Pueblo Libre, Áncash department.

Methodology: The study was conducted under a quantitative approach with an experimental design. Four treatments were applied: untreated water (control), conventional activated carbon, activated carbon from sunflower seeds, and conventional activated carbon combined with a natural coadjuvant. Water samples were analyzed before and after treatment to determine arsenic and iron concentrations, and the results were compared with the Environmental Quality Standards for water established by Peruvian regulations. Statistical analysis was performed using ANOVA and Tukey's test at a significance level of 0.05.

Results: The results showed that treatments using activated carbon, both conventional and sunflower seed-based, achieved removal efficiencies greater than 95% for arsenic and 96% for iron, reaching final concentrations below the maximum permissible limits. Statistical analysis indicated no significant differences among the activated carbon treatments, demonstrating comparable efficiency between the natural and conventional adsorbents.

Conclusions: It is concluded that activated carbon derived from sunflower seeds exhibits high efficiency in the removal of arsenic and iron from drinking water and can act as a natural coadjuvant to conventional activated carbon. Its use represents a viable, cost-effective, and environmentally sustainable alternative for water treatment in rural areas.

Keywords: Activated carbon, arsenic, iron, adsorption, drinking water, water treatment.

INTRODUCCIÓN

El acceso a agua potable de buena calidad es un derecho fundamental y un pilar esencial para la salud pública y el desarrollo sostenible. No obstante, en varias zonas rurales del Perú existe un problema ambiental y sanitario creciente debido a la presencia de contaminantes inorgánicos como arsénico y hierro en las fuentes de agua para consumo humano. Según el MINAM (2015), la exposición sostenida a altas concentraciones de estos metales puede acarrear efectos adversos para la salud, por lo que su control y eliminación reviste prioridad.

En el contexto peruano, la contaminación de las aguas subterráneas por arsénico y hierro se debe, principalmente, a procesos geogénicos y, en ciertos casos, a actividades humanas como la minería y la incorrecta gestión de residuos. Ante esta situación, recurrir a tecnologías de tratamiento convencionales puede implicar costos elevados de implementación y mantenimiento, lo que resulta especialmente problemático para comunidades rurales con limitaciones económicas y técnicas.

En respuesta, en años recientes ha crecido el interés por emplear adsorbentes naturales de origen vegetal como una alternativa sostenible para eliminar contaminantes del agua. El carbón activado derivado de biomasa vegetal demuestra una gran capacidad de adsorción gracias a su amplia área superficial y a su porosidad, siendo eficaz para remover metales pesados (Bunge, 2004; Hernández *et al.*, 2014). En este marco, las semillas de girasol se presentan como una materia prima accesible y potencialmente eficiente para obtener carbón activado, al tiempo que permiten aprovechar residuos agroindustriales.

Esta investigación adopta un enfoque cuantitativo y experimental, con el objetivo de evaluar el rendimiento del carbón activado de semillas de girasol como coadyuvante natural en la reducción de arsénico y hierro en agua destinada al consumo humano, tomando en cuenta los límites de la normativa ambiental peruana. Así, el estudio busca generar evidencia científica que respalde el uso de tecnologías alternativas, económicas y ambientalmente sostenibles para el tratamiento del agua en zonas rurales del país.

CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción de la realidad problemática.

El agua ha constituido, y continuará siendo, un foco de investigación para científicos a nivel global, dado que su conservación representa una cuestión de gran importancia. En la actualidad, su calidad se encuentra seriamente comprometida por diversos factores ambientales derivados de las actividades humanas (Pabón, 2020).

El agua dulce representa un 3% del total de recurso hídrico existente en el planeta Tierra, dentro de estas aguas se encuentran ríos, aguas subterráneas, manantiales y glaciares que en muchos casos son fuente de abastecimiento del líquido elemento para el consumo y desarrollo de la vida de las comunidades y países enteros. (Olmos – Palma *et al.*, 2022)

El agua dulce ya sea superficial o subterránea, se ve afectada en muchos casos por las infiltraciones o vertimientos inicuos de las actividades económicas desarrolladas próximas a las ubicaciones a estas captaciones. El deterioro de la calidad del recurso hídrico debido a la contaminación directa pone en riesgo la salud pública de los poblados asentados aguas abajo, quienes se abastecen de estas aguas para poder desarrollar su vida y actividades domésticas. (Lipa – Paye *et al.*, 2018)

En el Perú, aproximadamente el 78,8% de las viviendas ubicadas en zonas rurales dispone de acceso a servicios de abastecimiento de agua. donde sólo el 3.0% consume agua segura, debido a que las industrias, por lo general extractivas contribuyen con el deterioro de las propiedades inocuas del recurso hídrico, cabe recalcar que la composición de los sedimentos y rocas, pueden ser factores de la presencia de analitos como arsénico y hierro. (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2024)

En diversas partes del mundo se ha investigado tratamientos que den fin al problema de metales existentes en aguas de diferente uso, el carbón activado es una alternativa comúnmente usada debido a su capacidad adsorbente de sustancias de naturaleza química con los metales en forma iónica. Sin embargo, esta opción de mejoramiento resulta no ser prudente a largo plazo con la salud de los consumidores de las aguas tratadas, pues por su composición afecta los parámetros fisicoquímicos del efluente tratado. Debido a esto, también se proponen alternativas de carbón activado que se obtienen de biomasa natural, como la cascara de coco, cacao, semillas de girasol, y todo tipo de material leñoso que mediante procesos unitarios pueden servir como adsorbentes de contaminantes. (Reyes *et al.*, 2016)

A fines del año 2023 la red de salud Huaylas norte de la región Ancash, realiza sus monitoreos de agua en las fuentes de captación de los caseríos del Distrito de Pueblo Libre,

encontrando niveles altos de arsénico en el caserío de Cochatanca y niveles altos de Hierro en el caserío de Llacta Huaracayoc, por lo que inmediatamente se da aviso a la Municipalidad Distrital para a través de la Unidad de Gestión de Servicios de Agua y saneamiento se dé solución a la problemática existente. (Red de Salud Huaylas Norte, 2023)

Frente a esta problemática, la unidad técnica responsable gestionó la reubicación de las fuentes de captación por otras que posean características inocuas para la población usuaria. De igual manera, en vista de no contar con otras fuentes, los investigadores proponen alternativas convencionales, naturales y la coadyuvancia de estos para tratar la presencia de metales en el agua y de esta manera contribuir al bienestar y a una mejor calidad de vida de los habitantes de los caseríos previamente señalados.

1.2. Formulación del problema

1.2.1 Problema general

¿Qué tratamiento posee mejor efecto en la remoción de arsénico y hierro en el agua de consumo humano de los caseríos del Distrito de Pueblo Libre – Ancash 2025?

1.2.2 Problemas específicos

¿Cuál es el porcentaje de remoción de arsénico en el agua de consumo humano de los caseríos del distrito de Pueblo Libre?

¿Cuál es el porcentaje de remoción de hierro en el agua de consumo humano de los caseríos del Distrito de Pueblo Libre?

¿Cuál es el tratamiento más adecuado para tratar arsénico y hierro de los caseríos del Distrito de Pueblo Libre?

1.3. Objetivos de la investigación

1.3.1 Objetivo general

Establecer un tratamiento con el efecto suficiente para remover arsénico y hierro en las aguas de consumo humano de los caseríos del Distrito de Pueblo Libre – Ancash 2025.

1.3.2 Objetivos específicos

Analizar el porcentaje de remoción de arsénico en el agua de consumo humano de los caseríos del Distrito de Pueblo Libre.

Evidenciar el porcentaje de remoción de hierro tras aplicarse tratamientos naturales en el agua de consumo humano de los caseríos del Distrito de Pueblo Libre

Establecer un tratamiento más adecuado para tratar los niveles de arsénico y hierro en el agua de consumo humano de los caseríos del Distrito de Pueblo Libre.

1.4. Justificación de la investigación

La creciente demanda poblacional para poderse abastecer del recurso hídrico esencial para la vida en la Tierra ha sufrido constante cambios en su caracterización fisicoquímica y microbiológica producto de los aspectos ambientales emitidos por las actividades antropológicas lo que perjudica a las poblaciones que hace uso directo de este líquido elemento. (Padilla y Velarde, 2022)

Los sistemas de agua potable de los caseríos rurales del distrito de Pueblo Libre son fuente esencial de abastecimiento para el desarrollo de las comunidades que se asientan en los valles y quebradas, son estas poblaciones los beneficiarios directos de la propuesta de tratamientos que se ven reflejada en investigaciones como estas para mejorar la calidad del agua que consumen.

En el Perú el girasol, se produce de manera extensiva, ocupando grandes hectáreas de cultivo con fines ornamentales y medicinales, lo que hace de su semilla una excelente alternativa para ser utilizado como insumo principal en la producción de carbón activado vegetal que permita tratar agua para consumo humano con presencia de metales, sin que ello implique un posible peligro para la salud de quienes lo consumen.

En nuestro país, cada vez son más autores como Padilla *et al* (2024), Rosales (2019) y Cabrera y Chero (2023) que se suman a la lista de investigadores que proponen tratamientos sostenibles que poseen el potencial de mejorar la calidad de las aguas de consumo mejor o igual que los tratamientos convencionales o comerciales.

De igual manera, el presente estudio representa una oportunidad elevar el nivel de investigación experimental en materia ambiental, lo que contribuye con la mejora del conocimiento para las futuras generaciones de investigadores que dispongan de apostar por técnicas de bioremediación mediante carbón activado.

1.5. Delimitación del estudio

1.5.1 Delimitación territorial

- País : Perú
- Distrito : Pueblo Libre
- Provincia : Huaylas
- Región : Ancash

1.5.2 Delimitación temporal y espacial

El periodo asignado para llevar a cabo la investigación abarcó desde octubre hasta diciembre de 2025. La fase experimental se desarrolló en octubre, durante la cual se recolectaron muestras de agua provenientes de los reservorios de abastecimiento potable

ubicados en los caseríos de Llacta Huaracayoc y Cochatanca, en el distrito de Pueblo Libre. Posteriormente, los meses de noviembre y diciembre se destinaron al procesamiento, interpretación y análisis de los resultados obtenidos.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

2.1.1 Antecedentes internacionales

Vejarano y Casas (2021), realizó pre experimentos para poder obtener una superficie de adsorción adecuada para tratar aguas contaminadas por metales, es así como después de hacer pruebas con azul de metileno, consigue una superficie de $130.8779 \text{ m}^2/\text{g}$ para carbón activado de bambú. Siendo de esta manera realizó experimentos a nivel de laboratorio mediante el método de jarras para homogenizar el tratamiento, asimismo, se consideraron como variables independientes la cantidad inicial de adsorbente y la duración del proceso de agitación, mientras que como variables dependientes se evaluaron la eficiencia en la eliminación de la turbidez y del color, expresadas en porcentaje. Sus resultados obtuvieron porcentajes de remoción de 71.35 % para turbidez y 56.36 % para color, concluyendo finalmente que las alternativas naturales podrían eficazmente tratar también aguas contaminadas por metales.

Torres (2024) realizó la modificación de un carbón activado obtenido de residuos con ácido nítrico, con la finalidad de poder eliminar contaminantes como cobre, cadmio y plomo en agua por el método de adsorción. Luego de modificar el tratamiento a nivel de laboratorio, obtuvo un área de adsorción de $988 \text{ m}^2/\text{g}$ logrando una remoción de metales de hasta 99.03 %, lo que evidenció la capacidad adsorptiva del carbón activado mesoporoso para remover metales presentes en aguas de diferente procedencia.

Sánchez y Moreira (2022) analizaron la cinética de adsorción de cobre presente en soluciones acuosas aplicando carbón activado que obtuvieron mediante activación física de materiales leñosos como la semilla de girasol y otros residuos de similares características. La semilla de girasol aplicada demostró tener una capacidad de adsorción de metal de hasta 23.49 mg Cu/L lo que fue representativo y evidencia su potencial para la eliminación de cobre y otros metales.

Álvarez y López (2023) propusieron una investigación que tuvo como objetivo reducir o remover la presencia de metales pesados; como cobre, plomo, estaño, cadmio y arsénico, empleando procesos de adsorción con carbón activado, el cual ha sido sometido a activación tanto física como química utilizando ácido fosfórico., la penca de cabuya fue la materia prima activada. Las muestras de agua fueron provenientes de una planta minera. Mediante las pruebas de filtraciones se obtuvieron remociones de hasta 98.630%, lo que mediante el análisis de Chi cuadrado demostró que no existen diferencias significativas entre

la remoción obtenida por el carbón activado natural y el comercial, lo que se interpreta como una clara evidencia de la capacidad de la cabuya para remover metales de efluente minero.

2.1.2 Antecedentes nacionales

Cabrera y Chero (2023) realizaron una investigación aplicada del tipo experimental cuyo objetivo fue remover mercurio y cinc a través del uso de carbón activado obtenido a partir de semillas de girasol en sistemas de humedales ubicados en un distrito de Lima. Asimismo, utilizó solo activación física con dosis grandes de 20 gr/L, 30 gr/L y 40 g/L. Además, caracterizaron las aguas antes y después del experimento en base a variables de turbidez, conductividad eléctrica, DBO, DQO y coliformes termo tolerantes. Finalmente, los resultados obtenidos evidenciaron remociones de 57.1% y 50.7% de mercurio y cinc, respectivamente.

Ortiz y Díaz (2025) realizaron un estudio del tipo aplicada, de enfoque cuantitativo y diseño experimental, con el objetivo de remover metales pesados como plomo y hierro del agua del río Pativilca, para lo cual dispusieron de un arreglo estadístico de diseño completamente al azar. Se preparó carbón activado de penca de tuna mediante activación química con ácido fosfórico y activación física por carbonización a 650 °C. Se realizó el ensayo por filtración cuyos resultados obtuvieron hasta un 80% de remoción de metales, demostrando tener efectos significativos y similitud estadística con el carbón activado convencional.

Machacuay (2020) realizó su investigación del tipo experimental para poder remover plomo del agua de la laguna Huascacocha que actualmente recibe efluentes de la industria minera. Como biomasa se utilizó las semillas de eucalipto para la elaboración de carbón activado que fue aplicado sobre las muestras con ensayo de jarras en tiempos y dosis diferentes, obteniendo finalmente resultados positivos con remociones por encima del 90%, lo que claramente refleja el potencial de ser utilizado para tratar elevadas concentraciones de plomo de efluentes mineros.

Coaquira (2024) desarrolló una investigación con el objetivo de remover metales pesados en agua como plomo y cadmio aplicando carbón activado obtenido de material leñoso. Este carbón obtuvo una eficiencia de hasta un 100% de remoción de plomo y un 79.76% en la remoción para cadmio, asimismo todas las dosis tuvieron efectos estadísticamente similares ($p < 0.05$), concluyendo finalmente que estos recursos pueden ser utilizados para tratar altas concentraciones de metales en agua.

2.2. Bases teóricas

2.2.1 Agua y calidad del agua

El agua constituye un recurso natural renovable, esencial para la existencia de los seres vivos, además de ser frágil y clave en el impulso del desarrollo sostenible y en la preservación de los sistemas y ciclos naturales que la sostienen (MINAM, 2012). Desde una perspectiva fisicoquímica, se define como una sustancia compuesta por moléculas formadas por dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno, caracterizada por ser líquida, inodora, incolora e insípida. (MINAM, 2012)

La calidad del agua se refiere a las condiciones físicas, químicas y biológicas del agua en función de un uso específico, como el consumo humano, para lo cual existen valores máximos permisibles determinados en los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua, que incluyen parámetros como arsénico, hierro y otros contaminantes relevantes (Ministerio del Ambiente, 2015). En Perú, por ejemplo, los ECA actualizados consideran valores guía para parámetros químicos basados en recomendaciones de la OMS y criterios internacionales (MINAM, 2015).

2.2.2 Contaminación del agua

La contaminación hídrica se entiende como la modificación de las propiedades físicas, químicas o biológicas del agua a causa de la introducción, ya sea intencional o fortuita, de sustancias o desechos. Esta alteración compromete su idoneidad para los usos previstos y puede generar efectos negativos tanto en la salud humana como en el entorno natural (INACAL, 2021).

Los metales pesados, como el arsénico (As) y el hierro (Fe), son contaminantes inorgánicos que pueden estar presentes en fuentes de agua naturales o influenciadas por actividades antropogénicas como la minería. Su presencia en exceso constituye un riesgo para la salud y requiere tratamiento adecuado para cumplir con estándares de agua potable.

2.2.3 Tratamiento de agua y adsorción

El tratamiento de agua para consumo humano incluye procesos para reducir o eliminar contaminantes físicos, químicos y biológicos. Entre estos procesos, la adsorción es un mecanismo de transferencia de masa en el que moléculas o iones disueltos en agua se adhieren a la superficie de un sólido adsorbente como el carbón activado (literatura técnica). El uso de adsorbentes de origen vegetal ha sido ampliamente documentado por su efectividad y sostenibilidad en la remoción de metales pesados.

El carbón activado es un material con alta área superficial y porosidad, ampliamente utilizado como adsorbente en tratamiento de agua para remover contaminantes orgánicos e

inorgánicos, incluidos metales pesados como el arsénico y el hierro (investigación técnica). Su eficacia depende de las características fisicoquímicas tanto del adsorbente como del contaminante.

estos retienen las partes sólidas y da paso al líquido o fluido. (Vejarano y Casas, 2021)

2.2.4 Marco Legal

- **Ley general del ambiente N° 28611**

En su artículo 9, esta norma menciona y hace referencia a una responsabilidad directa bajo causalidad comprobada para aquellos que deterioren el medio ambiente, de esta manera se ven y están obligados a compensar, rehabilitar y/o restaurar el entorno afectado dependiendo del grado de daño que se haya causado.

- **Estándares nacionales de calidad ambiental para agua**

El Decreto Supremo N.º 004-2017-MINAM, emitido el 7 de junio de 2017, establece la clasificación de los cuerpos de agua y define parámetros estandarizados y cuantificables que permiten garantizar condiciones adecuadas para el desarrollo de la vida y los procesos biológicos asociados (MINAM, 2017). (Anexo 2)

- **Decreto supremo N.º 031-2010-SA “Reglamento de la calidad del agua para consumo”**

Este marco normativo establece las disposiciones para la gestión de la calidad del agua destinada al consumo humano, con el propósito de garantizar la protección de la salud pública, prevenir riesgos sanitarios y preservar la calidad de vida de la población, evitando su deterioro (D. S. N.º 031-2010-SA). (Ver anexo 3)

- **Resolución Directoral N° 160 – 2015 – DIGESA/SA “Protocolo de procedimientos para la toma de muestra, transporte, conservación y preservación de agua de consumo humano”**

Norma mediante el cual se estandarizan los procedimientos especializados para el desarrollo de monitoreo de la calidad de agua para consumo. (R. D. N.º 160-2015-DIGESA/SA)

2.3. Bases filosóficas

La investigación se apoya en un marco positivista, que sostiene que el saber científico se obtiene mediante la observación objetiva, la medición cuantificable y la verificación empírica de los fenómenos naturales. Bajo este marco, el rendimiento del carbón activado elaborado a partir de semillas de girasol para eliminar arsénico y hierro se evalúa mediante protocolos experimentales controlados y análisis estadísticos inferenciales, lo que permite

contrastar hipótesis y establecer relaciones de causalidad entre las variables estudiadas (Hernández *et al.*, 2014).

Del mismo modo, el estudio se sitúa dentro de un enfoque empirista, ya que el conocimiento se genera a partir de la experiencia directa tanto en laboratorio como en trabajo de campo, mediante la realización de ensayos de adsorción, filtración y medición de las concentraciones iniciales y finales de los metales. Este enfoque facilita la validación del comportamiento del carbón activado como adsorbente a partir de la evidencia experimental observable (Bunge, 2004).

Adicionalmente, desde una perspectiva pragmática, la investigación enfatiza la utilidad social del conocimiento científico, orientándose a atender una problemática ambiental concreta: la presencia de metales en el agua destinada al consumo humano en zonas rurales constituye un problema relevante de salud pública. En este contexto, la importancia del estudio no solo radica en la comprensión del fenómeno, sino también en la utilidad práctica de sus resultados para contribuir a la mejora de la calidad del agua y, en consecuencia, al bienestar de la población del distrito de Pueblo Libre (Dewey, 1938).

Esta investigación se enmarca dentro del enfoque del desarrollo sostenible, el cual impulsa la utilización responsable de los recursos naturales y la implementación de tecnologías con bajo impacto ambiental. En este sentido, el aprovechamiento de biomasa vegetal, como las semillas de girasol, para la obtención de carbón activado se alinea con los principios de sostenibilidad, economía circular y protección del medio ambiente. Esta aproximación coincide con lo establecido por la Comisión Mundial sobre Medio Ambiente y Desarrollo (WCED, 1987), al proponer estrategias que permitan satisfacer las necesidades actuales sin comprometer la disponibilidad de recursos para las generaciones futuras.

2.4. Definiciones conceptuales

- Agua de consumo humano

Expresión que recibe aquel recurso hídrico cuya función es la de satisfacer las necesidades primordiales de todo ser humano que se abastece de ella, asimismo, cumple la función de permitir el desarrollo social y económico de una civilización o población. (Infante, 2017)

- Carbón activado

Nomenclatura que reciben sustancias carbonáceas de capacidad adsorbente debido a su superficie porosa. Se utiliza para poder remover metales presentes en aguas de consumo humano o también para tratar aguas residuales e industriales. Además, presenta otros usos como el tratar intoxicaciones en animales. (Yachas, 2019)

- **Activación física**

También conocido como activación térmica, se logra a través de una carbonización de una sustancia a altas temperaturas, lo que ocasiona la liberación de oxígeno e hidrógeno, dando como resultado un material carbonoso y altamente poroso. (Escobar, 2017)

- **Activación química**

En comparación con la activación física, este método se lleva a cabo a temperaturas relativamente bajas utilizando agentes químicos como ácido fosfórico, hidróxido de potasio o cloruro de zinc. La aplicación conjunta de estos reactivos con un calentamiento cercano a 110 °C es suficiente para generar las condiciones necesarias que favorecen la activación de los sitios de adsorción iónica. (Escobar, 2017)

- **Semillas de girasol**

Las semillas de girasol se considera un producto de alta producción en territorio peruano, por lo tanto, presentan una elevada capacidad para adsorber contaminantes, lo que las convierte en un adsorbente eficaz en disoluciones acuosas. Los estudios de caracterización han identificado diversas propiedades, entre ellas su notable capacidad de absorción y retención de agua, su alto contenido de grupos hidroxilo asociado principalmente a la presencia de celulosa y lignina, así como su elevada biodegradabilidad. (Cabrera y Chero, 2023)

- **Sistema de agua potable en el sector rural**

Se conoce al conjunto de componentes estructurales hidráulicas cuya función es la de captar, conducir, almacenar y distribuir el agua desde una fuente natural de este líquido elemento a una determinada población de usuarios, por lo general están compuestos por: Fuente de captación, conducción por tuberías, cámaras rompe presión tipo 6, reservorio, sistemas de cloración, red de distribución y cámaras rompe presión tipo 7. (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2024)

- **Adsorción**

Se puede definir como la acumulación de una sustancia sobre una superficie que separa dos fases, lo cual puede ocurrir debido a la formación de una película líquida o gaseosa en la superficie de un sólido o de otro líquido (Vejarano y Casas, 2021)

- **Filtración**

Es aquel proceso en el cual el material particulado que se encuentra en un medio acuoso o gaseoso logran separarse debido a un medio filtrante o también llamado filtro, Hipótesis de investigación

2.5. Hipótesis de investigación

2.5.1 Hipótesis general

El tratamiento que posee mejor efecto en la remoción de arsénico y hierro del agua de consumo humano de los caseríos del Distrito de Pueblo es el de carbón activado convencional con coadyuvante natural.

2.5.2 Hipótesis específicas

Los porcentajes de remoción de arsénico en el agua de consumo humano de los caseríos del Distrito de Pueblo Libre superan el 80% de los niveles iniciales.

Los porcentajes de remoción de hierro en el agua de consumo humano de los caseríos del Distrito de Pueblo Libre superan el 90% de los niveles iniciales

El tratamiento más adecuado para tratar los niveles iniciales de arsénico y hierro en el agua de potable de los caseríos del Distrito de Pueblo Libre es el de carbón activado convencional con coadyuvante natural.

Tabla 1**2.6. Operacionalización de variable**

Título: CARBÓN ACTIVADO DE SEMILLAS DE GIRASOL EN LA REMOCIÓN DE ARSÉNICO Y HIERRO EN AGUA POTABLE,
PUEBLO LIBRE - ANCASH

VARIABLE	DEFINICIÓN	DIMENSIÓN	INDICADOR	UNIDAD
Carbón activado (X)	Material o sustancia obtenida mediante procesos unitarios capaces de remover contaminantes o mejorar la calidad del agua.	Testigo (0)	0	g/L
		Carbón activado convencional	4	g/L
		Carbón activado obtenido a partir de semillas de girasol		
		Carbón activado convencional con coadyuvante natural		
Concentración de arsénico y hierro (Y)	Nivel de prevalencia de iones de arsénico y hierro en el agua de potable que afectan la salud de las personas.	Niveles de arsénico	Porcentaje de remoción de arsénico	%
		Niveles de hierro	Porcentaje de Concentración de hierro removido	%

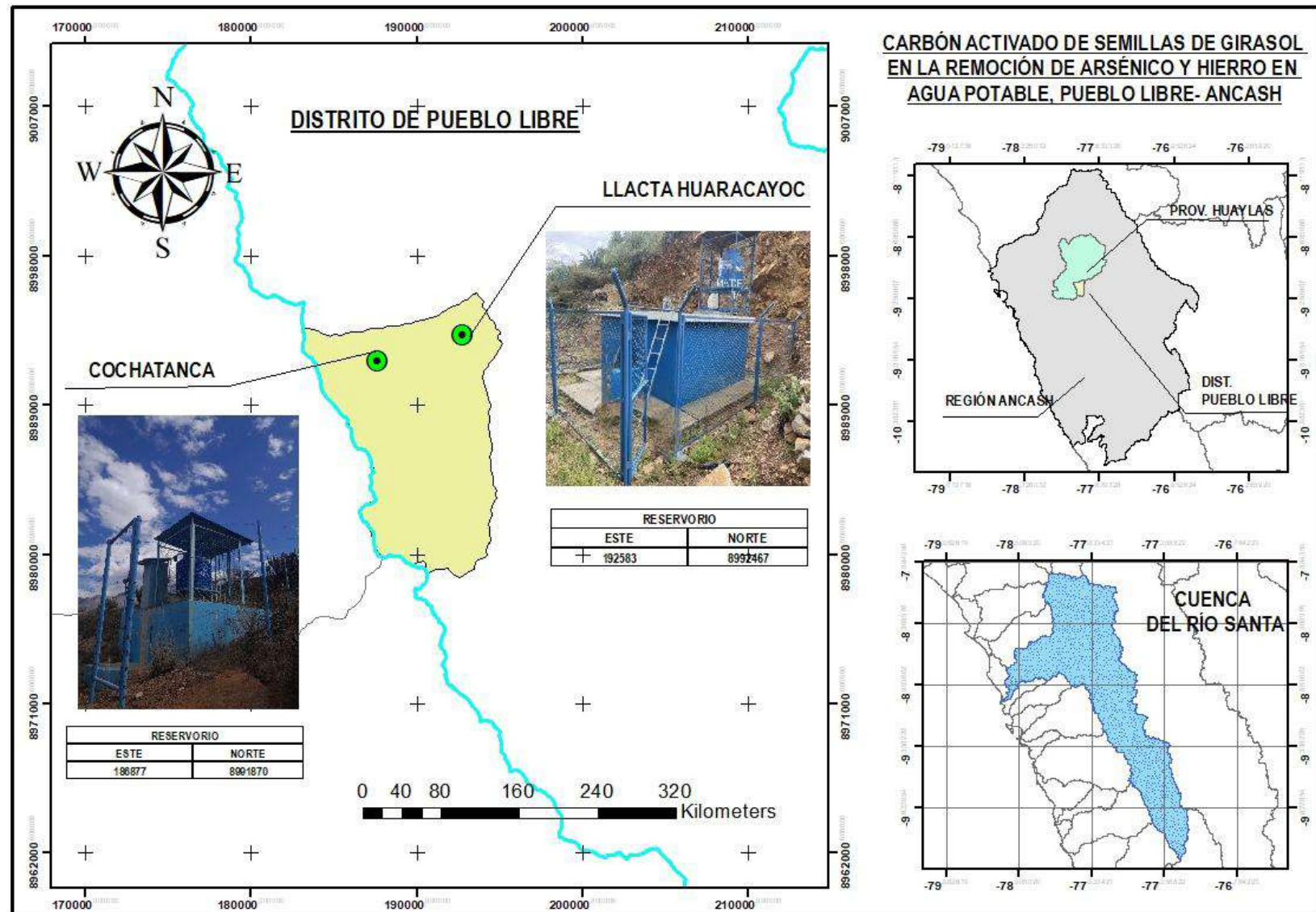
CAPÍTULO III. METODOLOGÍA

3.1. Gestión del experimento

3.1.1 Ubicación

El estudio se desarrolló dentro del ámbito territorial del distrito de Pueblo Libre, específicamente en el área comprendida por las coordenadas donde se ubican los reservorios de los caseríos de Cochatanca y Llacta Huaracayoc. Por otro lado, las actividades de carácter experimental se llevaron a cabo en las instalaciones de la Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión, localizada en el distrito de Huacho.

Figura 1. Ubicación del área de estudio



3.1.2 Características del área experimental

3.1.2.1 Pueblo Libre

El distrito de Pueblo Libre forma parte de la provincia de Huaylas y se ubica dentro del departamento de Áncash, en el territorio peruano. Fue creado por Ley del 02 de enero del año 1857, firmada por el Mariscal Ramón Castilla. Su capital es el pueblo de San Juan, con un clima templado. Su nombre es en modo de honra al primer grito de libertad ocurrido en uno de sus centros poblados.

El territorio del distrito de Pueblo Libre se encuentra delimitado por diversas jurisdicciones y accidentes geográficos. Hacia el sector septentrional colinda con los distritos de Caraz y Huata; por la zona meridional limita con el distrito de Yungay. En su extremo oriental se extiende hasta el nevado Huandoy, mientras que por el flanco occidental establece frontera con el distrito de Pamparomas.

Respecto de su situación cobertura de agua con su debida infraestructura, se tienen los siguientes datos:

Tabla 2

Lista de Centros Poblados del Distrito de Pueblo Libre con sistema de agua potable

ITEM	UBIGEO	CENTRO POBLADO	SISTEMA DE AGUA POTABLE	TIPO DE REGISTRO	POBLACIÓN TOTAL
1	212070001	SAN JUAN	SI	PADRE	170
2	212070002	CONOPA CHICO	NO	-	-
3	212070003	TOCASH	SI	PADRE	443
4	212070004	HUASHTA CRUZ	SI	PADRE	36
5	212070005	LLACTA	SI	PADRE	120
6	212070006	CHACAY	NO	-	-
7	212070007	HUAYRAPAMPA	SI	PADRE	24
8	212070008	CATUCANCHA	SI	PADRE	331
9	212070009	HUARACAYOC	SI	PADRE	76
10	212070010	FUIPON	SI	PADRE	174
11	212070011	INCAYA	NO	-	-
12	212070012	COTORACA	SI	PADRE	345
13	212070013	COCHATANCA	SI	PADRE	146
14	212070014	HUANCA	NO	-	-
15	212070015	HUASHCA	SI	PADRE	188
16	212070016	QUICHUA	SI	PADRE	55
17	212070017	COIROCSHO	SI	PADRE	383
18	212070019	AZUL CUNCA	SI	PADRE	25
19	212070020	HUAMANCAYAN	SI	PADRE	183
20	212070021	MOLINO	SI	PADRE	28

21	212070023	ALLMAY	SI	PADRE	240
22	212070024	PALLANCA	SI	PADRE	14
23	212070025	LA HOYADA	SI	PADRE	407
24	212070026	MARCA	SI	PADRE	360
25	212070027	CHANAHUAZ	SI	PADRE	81
26	212070028	CARAYOC	SI	PADRE	68
27	212070029	CARHUA	SI	PADRE	102
28	212070030	HUAYLLO	SI	PADRE	149
29	212070031	LLACLLAC	SI	PADRE	65
30	212070032	HUACAY	SI	PADRE	80
31	212070033	CHICLIN	SI	PADRE	256
32	212070034	ANTIRCAN	SI	PADRE	92
33	212070035	HUANAYO	SI	PADRE	293
34	212070036	QUERURAN	SI	PADRE	34
35	212070037	ISOCOTO	SI	PADRE	105
36	212070038	ACOYO	SI	PADRE	179
37	212070039	MACRAY BAJO	SI	PADRE	57
38	212070040	CRUZ DE MAYO	SI	PADRE	117
39	212070041	RIURIN	SI	PADRE	248
40	212070042	NUEVO PROGRESO	SI	PADRE	110
41	212070043	CHUPA	SI	PADRE	25
42	212070044	IRCAHUI	SI	PADRE	20
43	212070045	PALLACATAC	SI	PADRE	24
44	212070046	JATUN HUAIN	SI	PADRE	17
45	212070047	QUISUAR ANAN	SI	PADRE	11
46	212070049	HUANCAYOC	SI	PADRE	9
47	212070050	PACTSAK	SI	PADRE	23
48	212070051	ALLHUPA YACUN	SI	PADRE	16
49	212070052	RURIN SHUTU	NO	-	-
50	212070053	SAN ANTONIO	NO	-	-
51	212070054	MARCO PAMPA	SI	PADRE	17
52	212070055	KESKIPAMPA	SI	PADRE	13
53	212070056	LLACLLAPAMPA	SI	PADRE	3
54	212070057	CARAPAMPA	SI	PADRE	143
55	212070058	SHILLTA	SI	PADRE	14

Fuente: DATASS (2024)

3.1.3 Tratamientos

3.1.3.1 Obtención del carbón activado de semillas de girasol

El conjunto de pasos a seguir para lograr obtener las dosis de carbón activado de la semillas de girasol se fundamenta en las experiencias obtenidas adaptación de Yachas (2019) y Cabrera y Chero (2023):

- **Obtención de la semilla de girasol:** Se compró 500 g de semilla de girasol del mercado central de la ciudad de Huacho.

Figura 2. Pesado inicial de semilla de girasol



- **Tostado:** Se tostó con ayuda de una mufla A 350 °C por 2 horas, este procedimiento se realizó en tres ocasiones debido a la capacidad del equipo.

Figura 3. Tostado de semillas en mufla



Figura 4. Producto activado físicamente



- **Molienda:** Con ayuda de un molino industrial se trituraron las semillas tostadas en el proceso anterior.

Figura 5. Trituración de semillas tostadas



Figura 6. Pesado de semilla tostada triturado



- **Activación bioquímica:** Se utilizaron 625 ml de vinagre para activar la función acetato y carbonilo, esta solución se dejó reposar por 24 horas, luego se añadió 375 ml de agua y 375 ml más de vinagre, posteriormente se dejó reposar por 2 horas.

Figura 7. Adición de activante químico y agua



Figura 8. Semilla de girasol químicamente activado



- **Secado:** dejó secar el carbón en estufa a 110 °C por 12 horas

Figura 9. Secado final de carbón activado física y químicamente en estufa



- **Trituración:** Con el triturador industrial se procedió a reducir el producto obtenido luego de las activaciones.

Figura 10. Molienda final de carbón activado de semilla de girasol



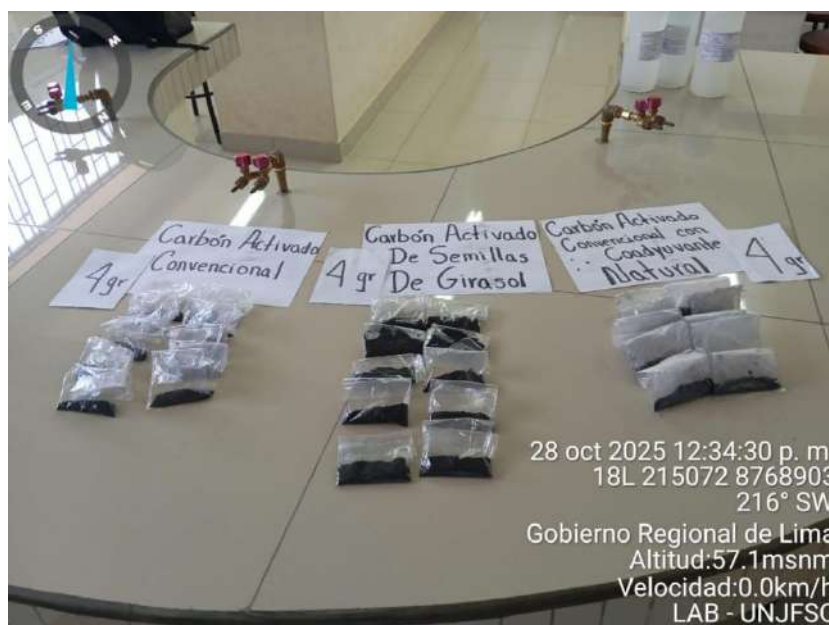
3.1.3.2 Obtención del carbón activado convencional

Se compró 50 gramos de carbón activado comercial en el laboratorio MULTILAB ubicado en la ciudad de Huacho.

3.1.3.3 Obtención del carbón activado convencional con coadyuvante natural

El carbón activado convencional comprado, se pesó a 2 g y se le añade 2 g de carbón activado de semillas de girasol, para tener una función coadyuvante.

Figura 11. Dosificación de carbón activado



3.1.4 Diseño experimental

En el desarrollo de este estudio se utilizó un diseño completamente al azar (DCA). Dicho esquema experimental estuvo conformado por cuatro tratamientos, cada uno con cinco repeticiones, lo que dio como resultado un total de veinte unidades experimentales, incluyendo un tratamiento control correspondiente a una dosis nula.

Los tratamientos que se usaron corresponden a dosis de carbón activado, los que fueron: Testigo (T_1), carbón activado convencional a 4 g/L (T_2), carbón activado obtenido a partir de semillas de girasol a 4g/L (T_3) y carbón activado convencional con coadyuvante natural a 4 g/L (T_4). Como variable respuesta se tiene a la remoción de metales (arsénico y hierro), el cual fue evaluado en función de porcentajes de remoción de la concentración.

Tabla 3

Tratamientos a utilizar en el experimento

N° Trat	Trat	Dosis (g/L)	REPETICIONES				
			1	2	3	4	5
1	Testigo	0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5
2	Carbón activado convencional		2.1	2.2	2.3	2.4	2.5
3	Carbón activado obtenido a partir de semillas de girasol	4	3.1	3.2	3.3	3.4	3.5
4	Carbón activado convencional con coadyuvante natural		4.1	4.2	4.3	4.4	4.5

3.1.5 Variables a evaluar

3.1.5.1 Dosis de carbón activado

- Obtención del carbón activado

El procedimiento para la obtención del tratamiento se encuentra establecido en la sección 3.1.3.1.

- **Obtención del carbón activado convencional**

La obtención de este tratamiento se encuentra establecido en la sección 3.1.3.2.

- **Método de aplicación**

Se realizó ensayos de adsorción con las muestras extraídas en los reservorios de los caseríos del distrito de Pueblo Libre.

Figura 12. Mesa de trabajo para ensayos de adsorción



Las muestras fueron vertidas en vaso de precipitado de 1 litro, en donde posteriormente se adicionó carbón activado según la distribución de tratamientos establecida en la metodología. Asimismo, se agitó con ayuda de una bagueta para seguidamente verter la mezcla homogeneizada al mismo frasco, en donde se mantuvo por un tiempo de contacto de 4 horas.

Figura 13. Homogeneización de muestras con tratamiento



Figura 14. Muestras en contacto con los tratamientos - Cochatanca

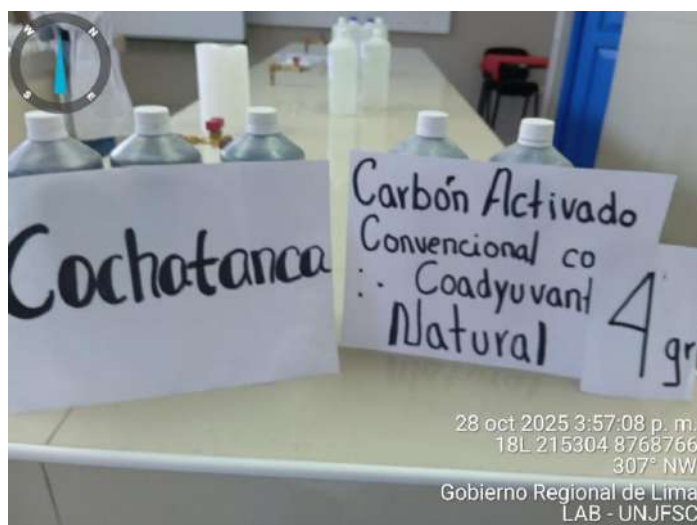
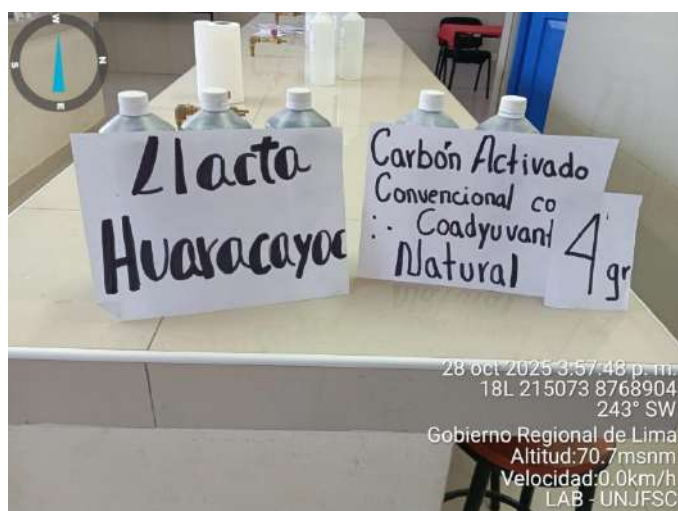


Figura 15. Muestras en contacto con los tratamientos – Llacta Huaracayoc



Finalmente, luego del tiempo de contacto, la mezcla homogeneizada se vierte sobre un matraz de Erlenmeyer de 1 litro, la cual contenía un embudo de vidrio con papel filtro, en la cual se retuvieron todos los sólidos, dejando el clarificado en el interior del matraz. La fase clarificada fue devuelto al frasco rotulado que le corresponde para ser enviado al laboratorio especializado donde se le analizaron las concentraciones finales de metales post tratamiento.

Figura 16. Filtrado de muestra homogénea



Figura 17. Muestras filtradas



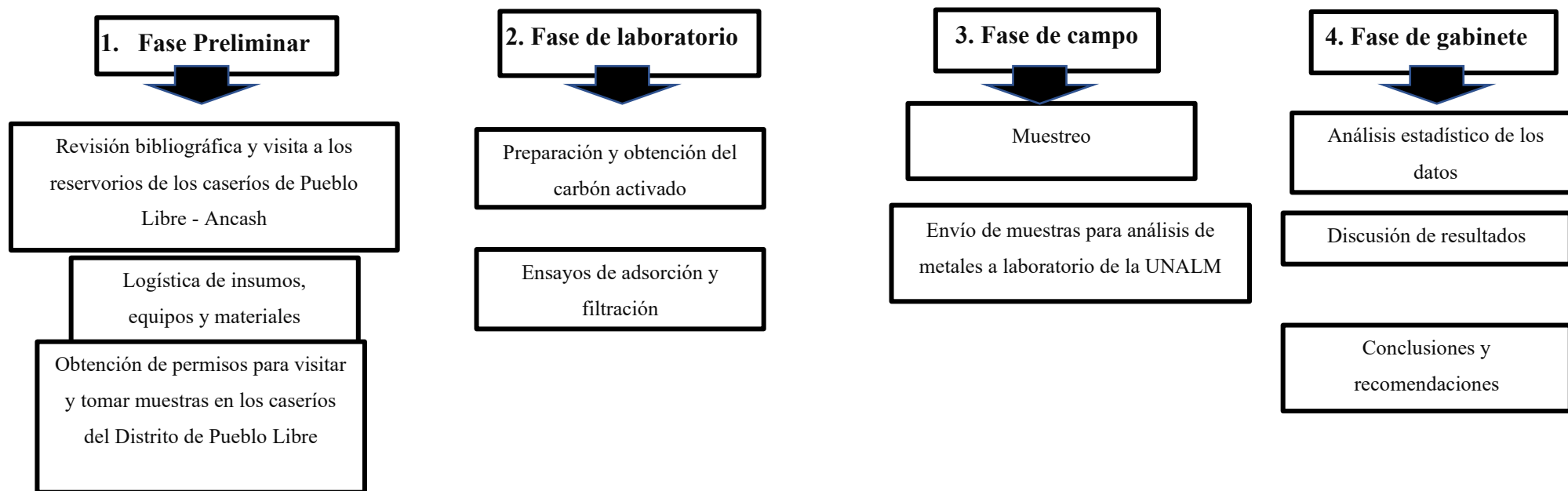
3.1.5.2 Remoción de metales

- Remoción de los metales

La evaluación de esta variable se llevará a cabo comparando los niveles de concentración inicial y final de los metales analizados (arsénico y hierro), expresados en términos porcentuales. Los valores promedio obtenidos serán sometidos a un análisis estadístico mediante una tabla ANOVA correspondiente a un Diseño Completamente al Azar (DCA).

3.1.6 Conducción del experimento

Figura 18. Flujoograma de conducción sistemática del experimento



3.2. Técnicas para el procesamiento de la información

Se utilizará la técnica estadística de análisis de la Varianza ($\alpha = 0.05$) para poder conocer si el efecto de los tratamientos aplicados presentan o no similitudes o diferencias estadísticas. Asimismo, se complementará con la prueba de comparación de medias de DSH Tukey y así conocer a detalle los tratamientos que poseen similitud o diferencias estadística. Para ello, se manejarán los datos en los software Minitab V19 y Excel 2019. Cabe recalcar que todos el manejo estadísticos de datos se harán comparando los niveles con la normativa nacional vigente.

3.3. Técnicas de recolección de datos

Para poder obtener las muestras que posteriormente fueron analizadas y de las cuales se obtuvieron los datos que fueron la fuente principal para el desarrollo de la interpretación de resultados, discusiones y conclusiones, se realizaron en base a lo establecido en los procedimientos y protocolos establecidos en la Resolución Directoral 160 – 2015 – DIGESA/SA.

3.3.1 Materiales y equipos

Antes del inicio del muestreo se realizó un check list de todos los insumos, materiales y equipos necesarios para el proceder de manera efectiva con lo planificado.

3.3.1.1 Materiales a utilizar

- Superficie de apoyo tipo tablero
- Piezas o marcadores para trabajo en campo
- Cuaderno destinado al registro de observaciones
- Rótulos adhesivos para identificación
- Hojas absorbentes para secado
- Marcador permanente resistente al agua
- Recipientes plásticos de boca amplia, sellado hermético y capacidad de 1 litro, sin uso previo
- Guantes desechables de protección
- Cubre bocas quirúrgico
- Agua purificada por destilación
- Contenedor térmico portátil
- Acumuladores de frío reutilizables
- Superficie tipo pizarra para anotacionesPizarra

3.3.1.2 Equipos

- Teléfono celular con aplicativo para GPS

3.3.1.3 Equipo de protección personal

- Zapatos de trekking
- Gorra o casco
- Chaleco reflectivo o guardapolvo

3.3.2 Consideraciones previas

- Todos los frascos estuvieron debidamente rotulados y con especificación para el tipo de parámetro a muestrear.
- Se Contempló el uso y disponibilidad de preservante para metales (ácido nítrico)

3.3.3 Procedimiento del muestreo

3.3.3.1 Ubicación de puntos de muestreo

Se realizó el reconocimiento de campo y Se identificaron puntos de fácil acceso y que cuente con presencia de viviendas asentadas en las proximidades del río con ayuda dplicativo GPS.

Figura 19. Reservorio Caserío Cochatanca



Figura 20. Identificación de punto de muestreo



3.3.3.2 Rotulado y etiquetado

Todos los frascos contaron con una etiqueta estandar con los datos minimos que establece la normativa. (Tabla 6)

Figura 21. Muestra rotulada



3.3.3.3 Toma de muestra

Con apoyo de una movilidad, las tesisas se aproximaron hacia los accesos aledaños a los reserveros de los caserios correspondientes, caminando 10 minutos.

Posteriormente, se prepararon los frascos previamente rotulado, se tomaron las coordenadas GPS y se procedió a realizar el muestreo conforme a lo siguiente:

Figura 22. Rotulación previa de muestras



Figura 23. Georreferenciación de punto de muestreo



El muestreador; haciendo uso de todos los implementos de seguridad, se colocó en la parte superior del reservorio, abriendo la tapa y con ayuda de un balde de plástico, extrajo agua del interior del reservorio, del cual vertió a los frascos con ayuda de una jarra.

Figura 24. Extracción de muestra y vertidos a frascos – Llacta Huaracayoc



Figura 25. Extracción de muestra y vertidos a frascos – Cochatanca



Posteriormente se le aplicó ácido nítrico a cada muestra para evitar la precipitación de metales y así preservarlos.

Figura 26. Preservación con ácido nítrico



3.3.4 Transporte de la muestra

El cooler con las muestra debidamente rotuladas y preservadas fueron transportadas a los laboratorios de la Universidad Nacional José Faustino Sanchez Carrión y Universidad Nacional Agraria La Molina donde se analizaran los niveles de arsenico y hierro.

Tabla 4

3.4. Matriz de consistencia

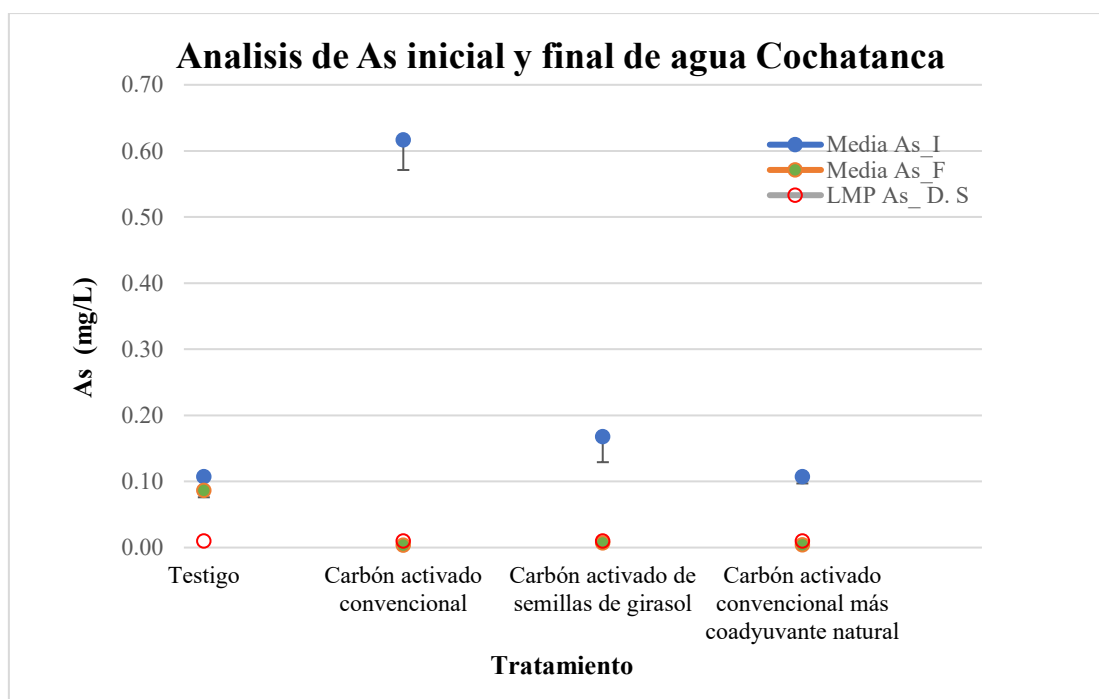
Título: “EFICIENCIA DEL CARBÓN ACTIVADO DE SEMILLAS DE GIRASOL EN LA REMOCIÓN DE ARSÉNICO Y HIERRO EN AGUA POTABLE, PUEBLO LIBRE - ANCASH				
PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	METODOLOGÍA
Problema general ¿Es eficiente el uso de carbón activado de semillas de girasol en la remoción de arsénico y hierro en agua potable, Pueblo Libre - Ancash? Problemas específicos 1. ¿Qué capacidad de remoción de hierro presenta el uso de carbón activado de semillas de girasol en agua potable? 2. ¿Qué capacidad de remoción de arsénico presenta el uso de carbón activado de semillas de girasol en agua potable? 3. ¿Qué características fisicoquímicas presenta el carbón activado de semillas de girasol en la remoción de arsénico y hierro en agua potable?	Objetivo general Determinar la eficiencia del uso de carbón activado de semillas de girasol en la remoción de arsénico y hierro en agua potable, Pueblo Libre - Ancash. Objetivos específicos 1. Determinar la capacidad de remoción de hierro que presenta el uso de carbón activado de semillas de girasol en agua potable. 2. Determinar la capacidad de remoción de arsénico que presenta el uso de carbón activado de semillas de girasol en agua potable. 3. Analizar las características fisicoquímicas que presenta el carbón activado de semillas de girasol en la remoción de arsénico y hierro en agua potable	Hipótesis general El uso de carbón activado de semillas de girasol actúa como coadyuvante natural y remueve significativamente el arsénico y hierro en agua potable, Pueblo Libre - Ancash Hipótesis Específicas 1. El uso de carbón activado de semillas de girasol permite obtener una alta capacidad en la remoción de hierro en agua potable 2. El uso de carbón activado de semillas de girasol permite obtener una alta capacidad en la remoción de arsénico en agua potable 3. Las características fisicoquímicas que presenta el carbón activado de semillas de girasol actúa como coadyuvante natural y remueve significativamente el arsénico y hierro en agua potable	V1: Carbón activado (X) <i>Testigo (dosis 0), (X₁)</i> <i>Carbón activado convencional a 4 g/L (X₂)</i> <i>Carbón activado obtenido a partir de semillas de girasol a 4 gr/L (X₃)</i> <i>Carbón activado convencional con coadyuvante natural (4g/L) (X₄)</i> V2: Remoción de metales (Y) • <i>Arsénico</i> • <i>Hierro</i>	Tipo de investigación: Aplicada Nivel de investigación: Explicativo Diseño de investigación: Experimental Enfoque de investigación: Cuantitativo Diseño estadístico. Diseño completamente al azar (DCA) de 5 repeticiones por tratamiento. Análisis estadístico: - Excel / Minitab - Análisis de normalidad - Prueba de tukey - ANOVA Técnicas: - Análisis de muestras en laboratorio - Medición por instrumentos de medición Métodos: - Protocolo para el muestreo de agua para consumo humano Resolución Directoral 160 – 2015 – DIGESA/SA - Ensayos por filtración - Operaciones unitarias en laboratorio Instrumentos: - Ficha de datos - Equipos de medición - Cadena de custodia Descripción del experimento: - Pre inicio de investigación - Procedimientos de laboratorio - Procedimientos de campo - Post experimento – análisis en gabinete

CAPÍTULO IV. RESULTADOS

Objetivo específico 1: Analizar el porcentaje de remoción de arsénico en el agua de consumo humano de los caseríos del Distrito de Pueblo Libre.

De acuerdo a los informes emitidos por la red de Salud Huaylas Norte, el caserío con riesgo de exposición a arsénico es el de Cochatanca, por lo tanto, a estas aguas se le realizó el análisis inicial de arsénico, y posteriormente se trató con carbón activado en laboratorio para finalmente obtener niveles finales de arsénico.

Figura 27. Grafica comparativa de niveles iniciales y finales de arsenico en el caserío de Cochatanca



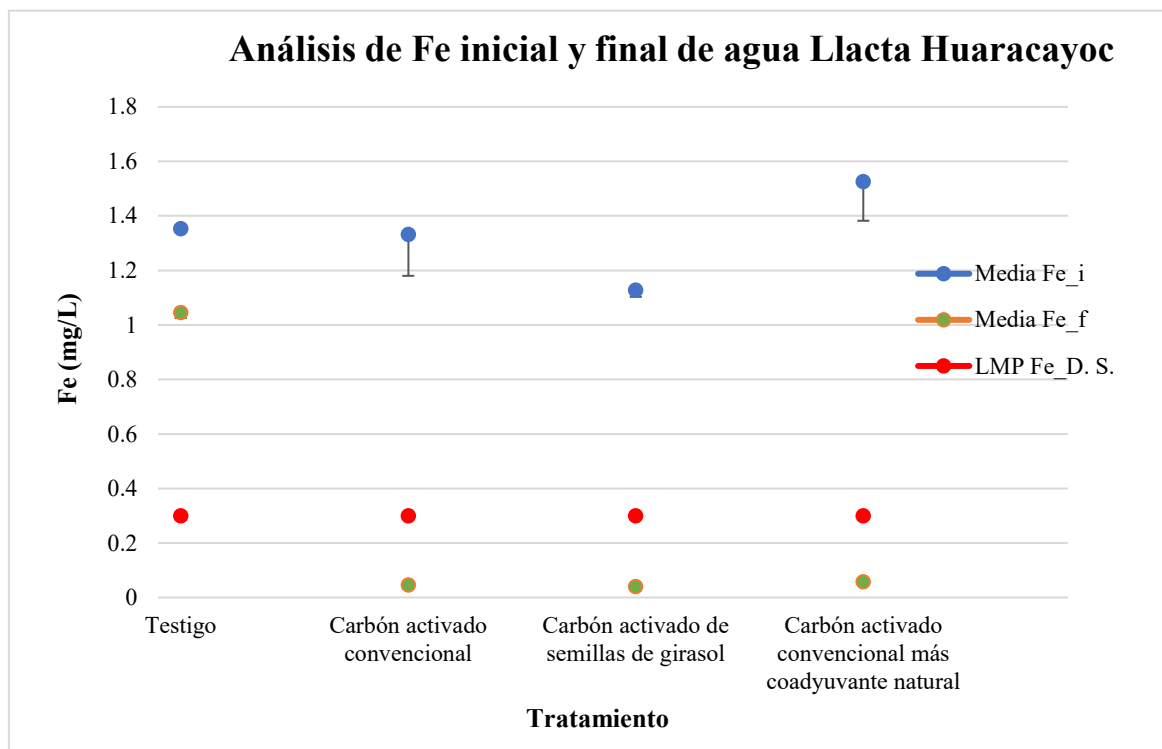
Como se observa en la figura 27 las medias de los niveles iniciales de arsénico superaban por mucho los 0.010 mg/L establecido como LMP por el D.S 031 – 2010 – DIGESA, mientras que las medias de niveles finales se encuentran por debajo de la normativa, a excepción de la media de las muestras testigo, la cual se encuentra por encima de normativa debido a que estas muestras no entraron en contacto con ningún tratamiento.

Objetivo específico 2: Evidenciar el porcentaje de remoción de hierro tras aplicarse tratamientos naturales en el agua de consumo humano de los caseríos del Distrito de Pueblo Libre

De acuerdo a los informes emitidos por la red de Salud Huaylas Norte, el caserío con riesgo de exposición a hierro es el de Llacta Huaracayoc, por lo tanto, a estas aguas se le realizó el

análisis inicial y posteriormente se trató con carbón activado en laboratorio para finalmente obtener niveles finales este metal.

Figura 28. Gráfica comparativa de niveles iniciales y finales de hierro en el caserío de Llacta Huaracayoc



La figura 28 evidencia los resultados obtenidos después del experimento realizado, teniendo únicamente como resultado negativo a la media de las muestras testigo, las cuales se mantiene por encima de los 0.3 mg/L de hierro establecido por el D.S 031 – 2010 – DIGESA. Asimismo, los tratamientos de carbon activado, muestran efectos positivos que conllevan a obtener concentraciones por debajo del LMP.

Objetivo específico 3: Establecer un tratamiento más adecuado para tratar los niveles de arsénico y hierro en el agua de consumo humano de los caseríos del Distrito de Pueblo Libre. Con los resultados anteriores se procedió a realizar un análisis descriptivo, para posteriormente seguir con el método inferencial de los porcentajes de remoción de cada tratamiento, iniciando con un test de normalidad (Tabla 5) para posteriormente realizar un análisis de la varianza (Tabla 5).

Figura 29. Porcentajes de remoción de concentración de arsenico en aguas del caserío Cochatanca

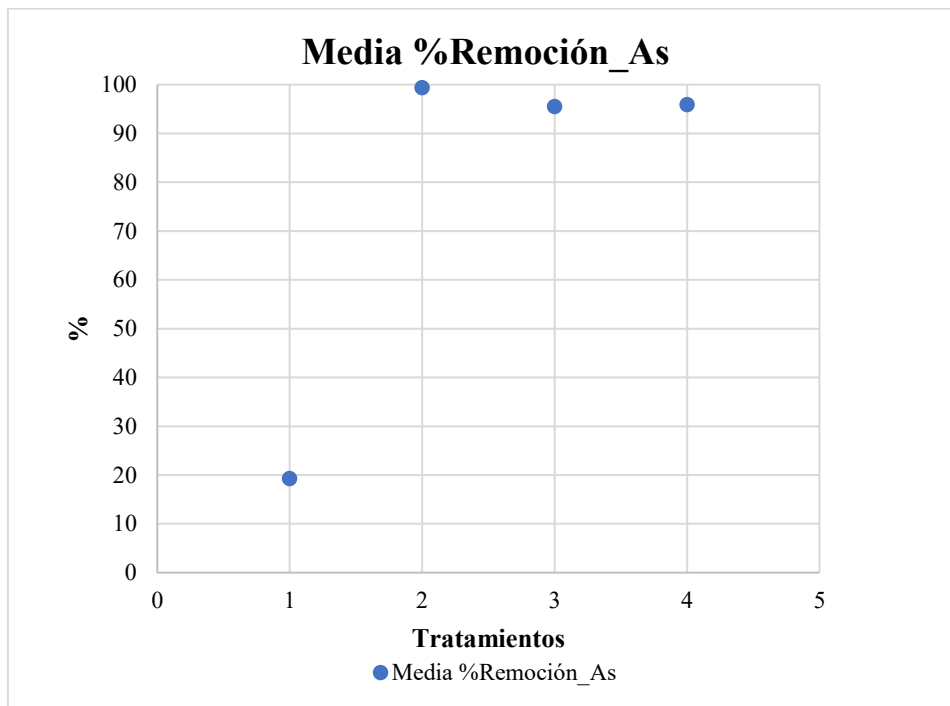
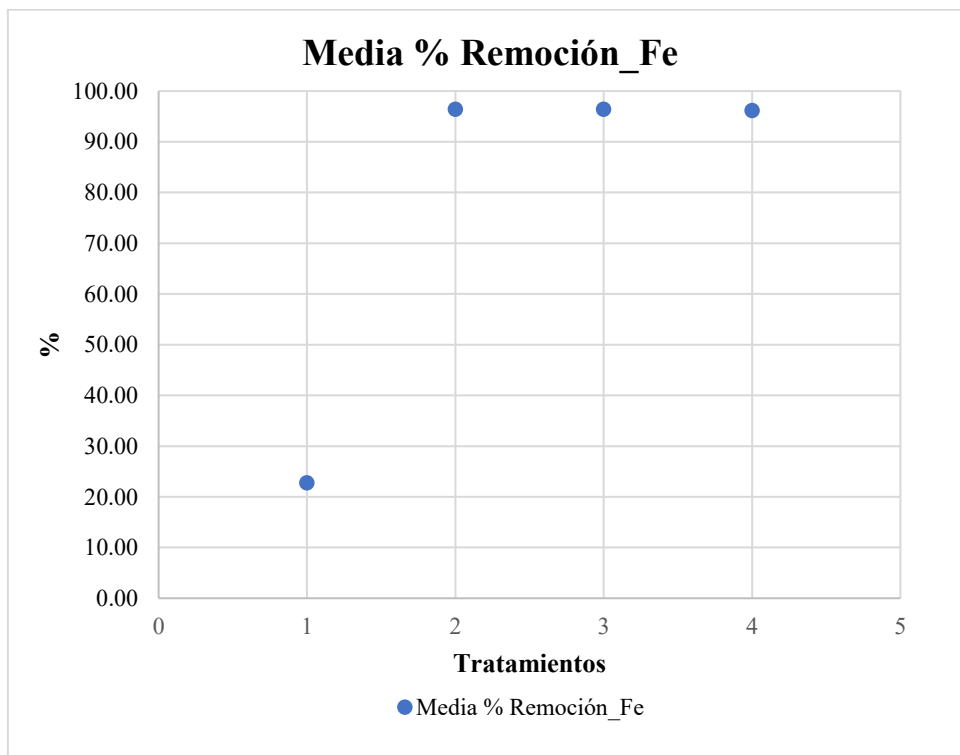


Figura 30. Porcentajes de remoción de concentración de hierro en aguas del caserío Llacta Huaracayoc



Las figuras 29 y 30 muestran los porcentajes de remoción de arsénico y hierro como resultado del ensayo de adsorción aplicado a las muestras. Evidenciando que la de menor

porcentaje es el testigo (Trat. 1) puesto que estas muestras no recibieron tratamiento y la reducción puede atribuirse al proceso de filtrado posterior que se le realizó. Sin embargo, los tratamientos de carbón activado muestran porcentajes alto de remoción de estos metales, llegando incluso a remover hasta un 99.38% de arsénico (Trat. 2) y 96.46% de hierro (Trat 2 y 3).

Para poder conocer a detalle las diferencias significativas entre los porcentajes de remoción de cada tratamiento, se realizó un test de shapiro con un $\alpha = 0.05$, para conocer la normalidad de los datos.

Tabla 5

Test de Shapiro – Wilk de medias de porcentajes de remoción de As y Fe

Variable	n	Media (%)	D. E	W*	P – Valor
%As	20	77.51	34.89	0.60	0.062
%Fe	20	77.96	32.72	0.55	0.7224

Como la Tabla 5 muestra, el p – valor de ambas variables resulta ser mayor del grado de significancia, por lo que se considera la distribución de los datos como normal, lo que permite continuar con un análisis inferencial paramétrico.

Tabla 6

ANOVA %Fe removido

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Trat	3	20319.5	6773.17	5028.31	0.000
Error	16	21.6	1.35		
Total	19	20341.0			

Tabla 7

ANOVA %As removido

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Trat	3	22636.0	7545.32	241.95	0.000
Error	16	499.0	31.19		
Total	19	23134.9			

De acuerdo al análisis de la varianza realizada a los porcentajes de remoción de los metales en cuestión a un 0.05 de nivel de confianza, obteniendo en ambos casos p valores menores del grado de significancia, por lo que se interpreta según regla de decisión, se evidencian variaciones estadísticamente relevantes entre por lo menos dos valores promedio correspondientes a los porcentajes de eliminación.

Tabla 8*Prueba de Tukey %As Removido*

Trat	N	Media	Agrupación
2	5	99.3824	A
4	5	95.8827	A
3	5	95.4852	A
1	5	19.3024	B

Nota: Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Tabla 9*Prueba de Tukey %Fe Removido*

Trat	N	Media	Agrupación
2	5	96.4632	A
3	5	96.4589	A
4	5	96.1533	A
1	5	22.7484	B

Nota: Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Las tablas 8 y 9 evidencian la similitud estadística existente entre los tratamientos de carbono activado convencional, carbono activado de semilla de girasol y carbono activado más coadyuvante natural, lo que indica que el tratamiento actualmente utilizado por la industria podría ser reemplazado por la alternativa natural o en su defecto por la coadyuvancia del método sostenible.

CAPÍTULO VI. DISCUSIÓN

La investigación tuvo como objetivo evaluar qué tan eficiente es el carbón activado producido a partir de semillas de girasol se emplea como material adsorbente para la remoción de arsénico y hierro presentes en el agua destinada al consumo humano, además de determinar su desempeño como coadyuvante natural frente al carbón activado convencional. Los hallazgos permiten discutir y contrastar las hipótesis planteadas con los antecedentes científicos revisados.

Sobre el objetivo específico 1, que busca conocer la capacidad de remoción de arsénico en el agua del caserío de Cochatanca, los resultados mostraron que los tratamientos con Carbón activado de origen comercial, material carbonoso activado obtenido a partir de semillas de girasol y carbón activado de tipo tradicional con coadyuvante natural lograron remociones superiores al 95%, dejando las concentraciones finales por debajo del límite máximo permitido por el D.S. N.º 031 – 2010 – SA. En contraste, el grupo control no cumplió la normativa, lo que indica la necesidad de aplicar un adsorbente.

Con esto, se admite la hipótesis específica 1, que sostiene que carbón activado de semillas de girasol puede alcanzar alto rendimiento de remoción de arsénico en agua potable. Este comportamiento coincide con lo reportado por Álvarez y López (2023) quienes obtuvieron remociones significativas de arsénico con carbón activado de origen vegetal, evidenciando la gran afinidad de los adsorbentes naturales por este metaloide.

En relación al objetivo específico 2, que evalúa la remoción de hierro en el agua del caserío de Llacta Huaracayoc, los resultados indicaron que los tratamientos con carbón activado lograron remociones superiores al 96%, reduciendo los valores iniciales por debajo de la concentración máxima permitido de 0.3 mg/L. El grupo control no logró cumplir con la normativa, lo que refuerza la efectividad del proceso de adsorción.

Esto permite aceptar la hipótesis específica 2, que propone que el carbón activado de semillas de girasol exhibe una alta capacidad para remover hierro en agua potable. Los hallazgos concuerdan con Machacuay (2020), Coaquira (2024) y Ortiz y Diaz (2025), quienes mostraron altas eficiencias en la remoción de metales pesados mediante carbones activados obtenidos a partir de biomasa vegetal, corroborando su viabilidad para tratar aguas contaminadas.

Para el objetivo específico 3, que busca determinar el tratamiento más adecuado para la remoción conjunta de arsénico y hierro, el análisis estadístico (ANOVA y la prueba de Tukey) no encontró diferencias estadísticamente significativas entre el carbón activado convencional, el carbón activado de semillas de girasol y el coadyuvante natural ($p < 0.05$).

Esto indica que los tres tratamientos presentan eficiencias similares en la remoción de ambos metales.

Así, se acepta la hipótesis específica 3, que afirma que las características fisicoquímicas del carbón activado de semillas de girasol permiten actuar como coadyuvante natural y remover de manera significativa arsénico y hierro en el agua potable. Este comportamiento coincide con Cabrera y Chero (2023), quienes concluyen que los carbones activados de origen vegetal pueden igualar la eficiencia de adsorbentes comerciales, con ventajas ambientales y económicas.

Por último, al analizar de forma integral los resultados, se observa que el uso del carbón activado de semillas de girasol, ya sea solo o en combinación con el carbón activado convencional, logró remover significativamente el arsénico y el hierro del agua. Por ello, se admite la hipótesis general: el carbón activado de semillas de girasol actúa como coadyuvante natural y remueve de forma significativa arsénico y hierro en el agua potable del distrito de Pueblo Libre – Ancash.

En conjunto, los hallazgos fortalecen la evidencia existente sobre el potencial de los adsorbentes naturales como una alternativa sostenible, eficiente y viable para el tratamiento de agua de consumo humano en zonas rurales, favoreciendo el resguardo del bienestar colectivo y promoviendo un aprovechamiento consciente y sostenible de los recursos provenientes de plantas.

CAPÍTULO VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones

Respecto al primer objetivo específico, se determina que los procedimientos de tratamiento con carbón activado permitieron eliminar el arsénico del agua del caserío de Cochatanca con eficiencias mayores al 95 %, logrando concentraciones finales por debajo del límite máximo permitido según lo establecido en el D.S. N.º 031-2010-SA.

Respecto al objetivo específico 2, se determinó que los tratamientos naturales y convencionales permitieron remover el hierro presente en el agua del caserío de Llacta Huaracayoc con porcentajes de remoción superiores al 96 %, evidenciando una alta eficiencia del proceso de adsorción.

En función del objetivo específico 3, se concluye que el carbón activado de semillas de girasol, tanto de forma individual como en coadyuvancia con carbón activado convencional, presenta una eficiencia estadísticamente similar a la del carbón activado comercial, constituyéndose como una alternativa sostenible y técnicamente viable para el tratamiento de agua de consumo humano.

De manera general, el uso de carbón activado de semillas de girasol demuestra ser una opción efectiva, accesible y ambientalmente amigable para la remoción de arsénico y hierro en sistemas de agua potable rurales.

6.2. Recomendaciones

Proponer la Implementación a nivel piloto el uso de carbón activado de semillas de girasol en los sistemas de tratamiento de agua de los caseríos del distrito de Pueblo Libre, priorizando aquellas zonas con antecedentes de contaminación por metales.

Realizar estudios complementarios que evalúen la vida útil, capacidad de regeneración y costos operativos del carbón activado de semillas de girasol en condiciones reales de operación.

Desarrollar investigaciones futuras que analicen la remoción simultánea de otros metales pesados y parámetros fisicoquímicos, a fin de ampliar el alcance del uso de adsorbentes naturales.

Promover la articulación entre universidades, gobiernos locales y entidades de saneamiento para fomentar el uso de tecnologías sostenibles basadas en biomasa local para el tratamiento de agua de consumo humano.

CAPÍTULO VII. REFERENCIAS

- Alvarez, D. y Lopez, S. (2023). Evaluación de remoción de metales pesados del agua residual de la industria minera, utilizando carbón activado de las fibras naturales de la cabuya. [Tesis de pregrado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. <https://dspace.esPOCH.edu.ec/items/7224dd8c-3892-4aea-b673-dab21563abf7>
- Aguilar, O. (2018). Mejora de la calidad del agua del río cumbe empleando filtro de carbón activado, [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Norte]. <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/13839?show=full>
- Borja, A. (2019). Carbón activado de corteza de papa como filtro para la remoción de plomo y cadmio en aguas de mina, Casapalca – Lima, 2019. [Tesis de pregrado, Universidad Cesar Vallejo]. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/54807>
- Bunge, M. (2004). La investigación científica: Su estrategia y su filosofía. Buenos Aires, Argentina: Siglo XXI Editores.
- Cabrera, K. y Chero, D. (2023). Remoción de mercurio y zinc con carbón activado de semillas de helianthus annuus en el humedal de ventanilla, Lima 2023. [Tesis de pregrado, Universidad Cesar Vallejo]. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/123045>
- Cárdenas, L. y Flores, M. (2022). Efecto del carbón activado de cascara de plátano (Musa paradisiaca variedad hartón) en la remoción de hierro total del agua del subsuelo de la Universidad Nacional de Ucayali. Ucayali, Perú. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Ucayali]. <http://repositorio.unu.edu.pe/handle/UNU/5838>
- Cedeño, B. y Vásquez, A. (2024). Eficiencia de bioadsorción de la cáscara de cacao (Theobroma cacao L.) en la remoción de plomo y aluminio del agua residual de la lubricadora “La sin Par”. [Tesis de pregrado, Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López]. <http://repositorio.espam.edu.ec/handle/42000/2353>
- Chavez, J. y Contreras, A. (2019). Disminución del cromo en aguas residuales de la industria de curtido a través del carbón activado de coco Ate – Lima, 2019. [Trabajo de investigación para la obtención del bachiller, Universidad Cesar Vallejo]. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/59842>
- Chiriboga, L. y Molina, J. (2024). Eficiencia del biochar de cáscara de cacao (Theobroma cacao) en la remoción de contaminantes del efluente de la camaronera “La Gringa”. [Proyecto de investigación, Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López]. <http://repositorio.espam.edu.ec/handle/42000/2343>

- Coaquira, L. (2024). Determinación de la eficiencia de remoción de plomo y cadmio en el agua con carbón activado obtenido de biomasa residual de especies forestales lupuna (*chorisia integrifolia* ulbr) y tornillo (*Cedrelinga cateniformis*). [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Juliaca]. <https://repositorio.unaj.edu.pe/handle/unaj/40>
- Cruz, G., Guzmán, V., Rimaycuna, J., Alfaro, R., Aguirre, D. y Ubillus, E. Tratamiento complementario de agua potable utilizando un filtro de carbón activado impregnado con quitosano producidos a partir de biomasa residual, *Revista de Investigación Científica Manglar*, 12(1). 65 – 74. DOI: 10.17268/manglar.2015.008
- Dewey, J. (1938). *Logic: The theory of inquiry*. New York, NY: Henry Holt and Company.
- Esteves, J. (2019). Propuesta para la elaboración de carbón activado a partir de mazorca de cacao (*Theobroma cacao*) para el pre – tratamiento de agua residual de lubricadora. [Trabajo de titulación, Universidad Agraria del Ecuador].
- Farias, J. (2019). Propuesta de aplicación del proceso de carbonización y activación química para la obtención de carbón activado de cáscaras de cacao en el distrito de Chulucanas, provincia de Morropón – 2018. [Tesis de pregrado, Universidad Cesar Vallejo]. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/59341>
- Guevara, R. (2023). Eficacia del carbón vegetal de la pepa de palta y cascarilla de cacao para remover soluciones cianuradas en La Libertad, 2023. [Tesis de pregrado, Universidad Cesar Vallejo]. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/132976>
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2014). Metodología de la investigación (6.^a ed.). México D.F., México: McGraw-Hill Education.
- Instituto Nacional de Calidad – INACAL. (2021). *NTP 214.003: Agua para consumo humano — Calidad y términos relacionados*. Recuperado de <https://id.scribd.com/document/954852926/32981-NTP-214-003-revised-in-2021-DRINKING-WATER-QUALITY>
- Lipa, Y., Rodríguez, C., Rivera, J. y Mendoza, J. (2020). Uso de filtros de carbón activado para mejorar la calidad del agua para consumo humano en centro poblados de la región de Puno. *Revista Científica Investigación Andina*, 20(2). DOI: [10.35306/rev.%20cien.%20univ..v20i2.867](https://doi.org/10.35306/rev.%20cien.%20univ..v20i2.867)
- López, Á., Acevedo, J. y Acevedo, M. (2019). Producción de carbón activado como estrategia para disminuir los residuos agroindustriales generados en Santander. Repositorio institucional RI – UTS. <http://repositorio.uts.edu.co:8080/xmlui/handle/123456789/1414>

- Machacuay (2020). Adsorción de plomo (II) con carbón activado a partir de semillas de eucalipto (*Eucalyptus globulus*) en la laguna Huascacocha, Yauli, Junín – 2020, [Tesis de pregrado, Universidad Continental]. <https://hdl.handle.net/20.500.12394/9966>
- Maldonado, L. y Escobar, F. (2018). Análisis del carbón activado como filtro en el tratamiento de aguas residuales provenientes de un camal ubicado en el barrio El Porvenir del cantón Tisaleo, provincia de Tungurahua, [Universidad Técnica de Ambato]. <http://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/27017>
- Marin, G. López, J. (2019). Evaluación de la eficiencia del carbón activado elaborado a partir de cáscara de cacao (*Theobroma cacao*) y bagazo de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) para la adsorción de cloruros y mercurio. [Proyecto de tesis, Universidad Laica “Eloy Alfaro de Manabí”]. <https://repositorio.uleam.edu.ec/bitstream/123456789/3102/1/ULEAM-RNA-0068.pdf>
- Ministerio del Ambiente – MINAM. (2012). *Glosario de términos de la gestión ambiental peruana* [PDF]. SINIA. Recuperado de <https://sinia.minam.gob.pe/sites/default/files/siar-puno/archivos/public/docs/504.pdf>
- Ministerio del Ambiente – MINAM. (2015). *Estándares de Calidad Ambiental para Agua* (Decreto Supremo No. 015-2015-MINAM). Recuperado de <https://www.minam.gob.pe/notas-de-prensa/lima-30-de-diciembre-de-2015-mediante-decreto-supremo-no-015-2015-minam-publicado-el-19-de-diciembre-de-2015-en-el-diario-oficial-el-peruano-el-ministerio-del-ambiente-minam-en-coordinacion/>
- Ministerio de Salud (2010). Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano aprobado mediante Decreto Supremo N.º 031-2010-SA. *Salud Ambiental*. Perú.
- Ministerio de Salud (2015). Protocolo de procedimientos para la toma de muestras, preservación, conservación, transporte, almacenamiento y recepción de agua para consumo aprobado mediante Resolución Directoral N.º 160-2015/DIGESA/SA. *Dirección General de Salud*. Perú.
- Ministerio de Agricultura y Riego (2016). Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales aprobado mediante Resolución Jefatural N.º 010-2016-ANA. *Autoridad Nacional del Agua*. Perú.

- Ministerio del Ambiente (2017). Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua aprobado mediante Decreto Supremo N.º 004-2017-MINAM. *Ministerio del Ambiente*. Perú.
- Murrieta L. (2019). Evaluación de la capacidad de adsorción de carbón activado mediante cáscara de naranja (*Citrus Cinensis*) para la remoción de iones de Arsénico en aguas residuales industriales. [Tesis de pregrado, Universidad Peruana Unión]. <http://repositorio.upeu.edu.pe/handle/20.500.12840/2451>
- Organización de las Naciones Unidas. (1987). Nuestro futuro común (Informe de la Comisión Mundial sobre Medio Ambiente y Desarrollo). Oxford, Reino Unido: Oxford University Press.
- Organization for Economic Co-operation and Development – OECD. (2020). *Regulatory enforcement and inspections in the environmental sector of Peru*. OECD Publishing. Recuperado de <https://doi.org/10.1787/54253639-en>
- Ortiz, S. y Diaz, A. (2025). Aplicación de mucílago y carbón activado, obtenido de la penca de la tuna (*Opuntia ficus – Indica*) para la remoción de turbidez y metales del agua del río Pativilca (Lima – Perú). [Tesis de pregrado, Universidad Científica del Sur]. <https://repositorio.cientifica.edu.pe/handle/20.500.12805/4115>
- Paredes, E. y Segura, L. (2021). Estudio de la remoción de metales pesados en aguas contaminadas de ríos utilizando carbón activado vegetal. [Tesis de pregrado, Universidad Privada del Norte]. <https://hdl.handle.net/11537/28778>
- Padilla, J. y Velarde, M. (2022). Efecto de floculantes alternativos en la mejora de la calidad del agua de potencial consumo humano en San María, Huaura, [Tesis de pregrado, Universidad Nacional José Faustino Sanchez]. <https://repositorio.unjfsc.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14067/7620/TESIS-PADILLA-VELARDE-REPOSITORIO.pdf?sequence=1>
- Red de Salud Huaylas Norte. (2023). *Oficio N.º 369-2023-DIRES-RED-S-Hy-N-C/ODI-USA* [Documento oficial]. Emitido por la Jefa de Salud Ambiental, Marisol Pastor Villar.
- Reyes, Y., Vergara, I., Torres, O., Díaz, M. y Gonzales, E. (2016). Contaminación por metales pesados. *Revista de Ingeniería, Investigación y Desarrollo*, 16(2), 66 – 77. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6096110>
- Rivera, H., Chira, J., Chacón, I., Campian, M., Cotrina, J. y Rosales, A. (2010). *Revista del Instituto de Investigación de la Facultad de Minas, Metalurgia y Ciencias geográficas*. 13(26), 21 – 25. <https://doi.org/10.15381/iigeo.v13i26.344>

- Rodríguez, J. (2019). Producción de carbón activado a partir de la testa de la almendra de cacao con ácido fosórico al 60%. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Jaén]. <http://repositorio.unj.edu.pe/handle/UNJ/42>
- Rosales, D. y Quevedo, A. (2019). Adsorción con carbón activado obtenido de la semilla de aguaje para la remoción de plomo y cromo en aguas contaminadas. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Callao]. <http://hdl.handle.net/20.500.12952/5114>
- Rojas, J., Gutierrez, E. y Colina, G. (2016). Obtención y caracterización de carbón activado obtenido de lodos de plantas de tratamiento de agua residual de una industria avícola. *Ingeniería, Investigación y Tecnología*, 14(4), 453 – 462. DOI: 10.1016/j.riit.2016.11.005
- Sánchez, F. y Moreira, C. (2022). Análisis de la cinética de adsorción de cobre (II) con diferentes materiales: Una revisión bibliográfica. *Revista Colón Ciencias, Tecnología y Negocios*. 9(1), 81 – 96. https://revistas.up.ac.pa/index.php/revista_colon_ctn/article/view/2620
- Vejarano, N. y Casas, I. (2021). Evaluación de la viabilidad de un tratamiento de aguas por carbón activado obtenido del bambú de la especie *Chusquea Scandens* Kunth, [Universidad de América]. <https://hdl.handle.net/20.500.11839/8664>
- Yachas, E. (2019). Grado de eficacia del carbón activado de la cáscara de coco, en la absorción del hierro y plomo del agua de consumos de los estudiantes de la I.E San Andrés de Paragsha – Simón Bolívar 2018, [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión]. <http://repositorio.undac.edu.pe/handle/undac/1444>

ANEXOS

Anexo 1.

Tabla 10

Data para procesamiento

Rep	Trat	Descripción	Fe_I mg/ L	Medi a Fe_i	Desvest_ i	Fe_F	Media Fe_f	Desvest_ f	%Remoció n_Fe	Media % Remoción_ Fe	LMP Fe D. S.		As_I	Media As_I	Desvest_ i	As_F	Media As_F	Desvest_ F	%Remoció n_As	Media %Remoción_ As	LMP As_ D. S.
1	1		1.36			1.06			22.06				0.10640			0.097560			8.31		
2	1		1.35			1.06			21.48				0.11320			0.081600			27.92		
3	1	Testigo	1.36	1.354	0.005	1.05	1.046	0.021	22.79	22.75	0.30		0.10650	0.11	0.005	0.098540	0.0866200	0.01059	7.47	19.3023707	0.01
4	1		1.35			1.01			25.19				0.11190			0.076500			31.64		
5	1		1.35			1.05			22.22				0.10010			0.078900			21.18		
1	2		1.36			0.06			95.59				0.63600			0.003800			99.40		
2	2	Carbón activado convencional	1.53			0.03			98.04				0.61900			0.003821			99.38		
3	2		1.18	1.332	0.152	0.05	0.046	0.011	95.76	96.46	0.30		0.67800	0.62	0.046	0.003782	0.0037924	0.00006	99.44	99.3824094	0.01
4	2		1.18			0.05			95.76				0.59800			0.003695			99.38		
5	2		1.41			0.04			97.16				0.55400			0.003864			99.30		
1	3		1.11			0.02			98.20				0.10320			0.007240			92.98		
2	3	Carbón activado de semillas de girasol	1.11			0.04			96.40				0.16730			0.006982			95.83		
3	3		1.12	1.128	0.025	0.04	0.04	0.014	96.43	96.46	0.30		0.17340	0.17	0.039	0.007183	0.0071400	0.00011	95.86	95.4851919	0.01
4	3		1.17			0.04			96.58				0.19853			0.007219			96.36		
5	3		1.13			0.06			94.69				0.19620			0.007076			96.39		
1	4	Carbón activado convencional más coadyuvante natural	1.68			0.05			97.02				0.11000			0.004850			95.59		
2	4		1.58			0.05			96.84				0.12450			0.004760			96.18		
3	4		1.54	1.526	0.144	0.06	0.058	0.008	96.10	96.15	0.30		0.09820	0.11	0.011	0.004297	0.0044148	0.00038	95.62	95.8826832	0.01
4	4		1.54			0.07			95.45				0.10030			0.003975			96.04		
5	4		1.29			0.06			95.35				0.10440			0.004192			95.98		

Anexo 2.**Tabla 11***Formato de rótulo de muestra.*

LABORATORIO DE CONTROL AMBIENTAL		
Código de identificación de campo		
Coordenadas		Este:
		Norte:
		Altura:
Localidad/distrital/provincia/región		
Fecha y Hora de Muestreo		
Tipo de análisis requerido		Preservada:
		Nombre del preservante:
Nombre del muestreador (Institución/Entidad)		

Anexo 3.

Tabla 12

Limites Maximos Permisibles de agua para consumo

Parámetros	Unidad de Medida	Límite máximo Permisible
Olor	---	Aceptable
Sabor	---	Aceptable
Color	UCV escala Pt/Co	15
Turbiedad	UNT	5
Ph	Valor de pH	6.5 a 8.5
Conductividad	µmho/cm	1500
Solidos Totales Disueltos	mg/L	1000
Cloruros	mg/Cl L	250
Sulfatos	mg SO ₄ /L	250
Dureza total	mg CaCO ₃ /L	500
Amoniaco	mg N/L	1.5
Hierro	mg Fe/L	0.3
Manganeso	mg Mn/L	0.4
Aluminio	mg Al/L	0.2
Cobre	mg Cu/L	2.0
Zinc	Mg Zn/L	3.0
Arsénico	mg As/L	0.01

Anexo 4. Oficio múltiple remitido a las autoridades de las JASS de Cochatanca y Llacta Huaracayoc y al alcalde del Distrito de Pueblo Libre.

"Decenio de la Igualdad de Oportunidades para mujeres y hombres"
"Año del Bicentenario, de la consolidación de nuestra Independencia, y de la conmemoración de las heroicas batallas de Junín y Ayacucho"

Oficio Múltiple N.º 001 – 2024 – EIUNJFSC

Señores (a),

Jonatan Deyvi Alegre Angeles
Alcalde Distrital de Pueblo Libre

José Antonio Tapia Milla
Presidente del comité de agua potable del caserío de Llacta Huaracayoc



Santa Alegre Trejo
Presidente de la Junta Administradora de Servicios de Agua y Saneamiento Cochatanca

Atención:

Ing. Jean Carlos Alfonso Padilla Ramírez
Jefe de la Unidad de Área técnica de Gestión de Servicios de Agua y Saneamiento

Presente. -

Asunto: Solicitud de permiso para poder extraer muestras en marco de ejecución de proyecto de investigación para la obtención de título profesional de la Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión.

Tengo el agrado de dirigirme a usted para saludarle cordialmente a nombre del equipo de investigación (tesistas) y el mío propio; a su vez, hago llegar a su despacho la solicitud para poder extraer muestras de los reservorios de agua potable de los caseríos Llacta Huaracayoc y Cochatanca para llevar a cabo la ejecución del proyecto de investigación intitulado "Remoción de arsénico y hierro en aguas de consumo humano de caseríos del distrito de Pueblo Libre -Ancash"

Para cualquier coordinación, agradeceré comunicarse con las tesistas responsables al teléfono +51 929 892 744 o 934 930 865.

Sin otro particular, hago propicia la ocasión para expresarle los sentimientos de mi especial consideración y estima.

Atentamente,

Llanque Rimac Estefany Lizeth
DNI: 74287248

Ocrospoma Duran Sofia Natalia
DNI: 75378167

Anexo 5. Panel fotográfico

Figura 31. Carbonización de semillas a 350 °C



Figura 32. Dosificación de ácido acético para activación química

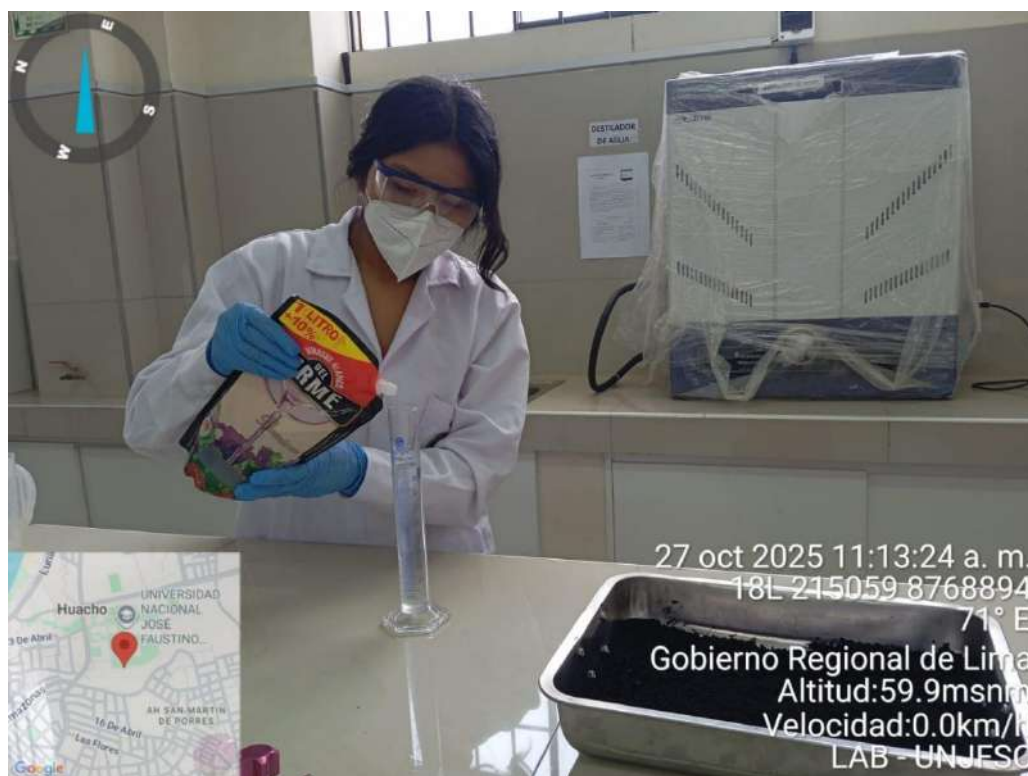


Figura 33. Pesado de tratamientos

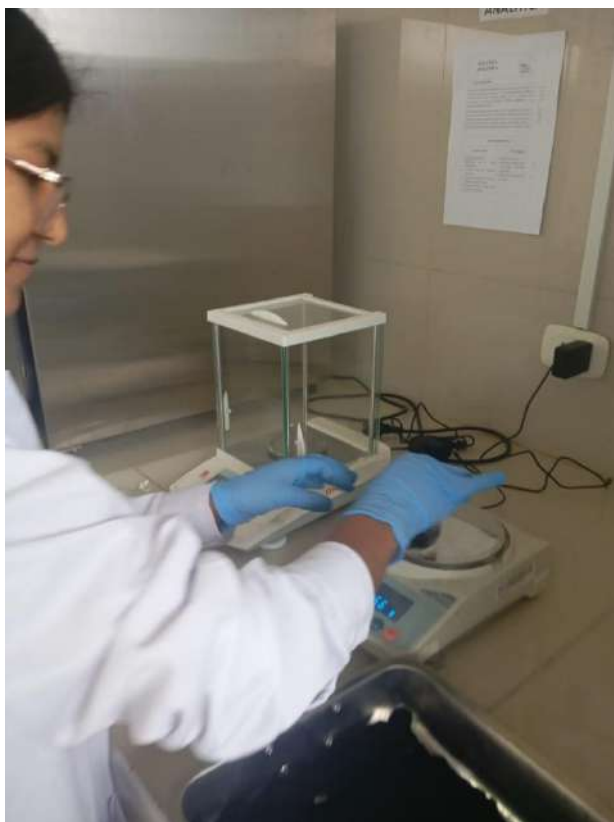


Figura 34. Vertido de muestra a unidad de filtrado



Figura 35. Muestreo en Caserío de Llacta Huaracayoc



Figura 36. Muestreo en caserío de Cochatanca

